

# **LISÄLÄMMÖNERISTYKSEN VAIKUTUS TUULETUSTILALLISEEN YLÄPOHJAAN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät, 2018

Niklas Kotonen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Niklas Kotonen	<b>Vuosi</b> 2018
<b>Työn nimi</b>	Lisälämmöneristysten vaikutus tuuletustilalliseen yläpohjaan	
<b>Työn ohjaaja</b>	Anssi Knuutila	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena on lisälämmöneristysten vaikutus tuuletustilalliseen yläpohjaan. Työssä tutkittiin kolmea omakotitaloa, joiden lämmitysmuotona on suora sähkölämmitys. Tutkittavat talot ovat harjakattoisia ja tuuletustilallisia, ja urakoitsijat olivat toteuttaneet niihin lisälämmöneristysten puhallusvillalla.

Työssä tutkittiin yläpohjan lisälämmöneristysten vaikutusta U-arvoon, ympäristöministeriön asetuksen 4/13 toteutumiseen sekä lämpöhäviöiden muutoksiin. Yläpohjarakenteen toimintaa tutkittiin yläpohjan lämpökuvausvauksella ja sen kosteusteknistä toimintaa diffuusiotaulukolla.

Lisälämmöneristysten vaikutusta rakennuksen sähkönkulutukseen tutkittiin toteutuneiden sähkönkulutusten avulla, joita verrattiin laskennallisiin energiankulutuksiin. Toteutuneiden sähkönkulutusten mukainen säästö oli -2,6 % - 4,2 %. Laskennallisten energiankulutusten mukaan säästöä olisi kertynyt 5,25 % - 13,2 %. Erojen oletettiin johtuvan rakennusten lämmitystä tukevien ilmalämpöpumppujen ja takkojen käytöstä. Toteutuneiden sähkönkulutusten ja energiatodistusten mukaisten sähkönkulutusten arvon välillä oli eroja -43 % - 1,1 %. Erojen oletettiin johtuvan asukkaiden asumistottumuksista.

Asukkaille tehdyn kyselyn perusteella arvioitiin lisälämmöneristysten toteutusta sekä tutkittiin yläpohjaan liittyvien määräysten ja ohjeiden toteutumista.

**Avainsanat** lisäeristys, energiatehokkuus, sähkönkulutus

**Sivut** 121 sivua, joista liitteitä 62 sivua

Degree Programme in Building and Construction Engineering  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Niklas Kotonen	<b>Year</b> 2018
<b>Subject</b>	Effects of additional thermal insulation on a ventilated roof	
<b>Supervisor</b>	Anssi Knuutila	

---

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study the effect of additional thermal insulation on a ventilated roof. Three private family houses with direct electric heating were studied in the thesis. The houses to be studied had gable roofs with ventilation spaces, where additional thermal insulation with blow-in insulation was carried out by contractors.

The effect of additional thermal insulation on U-value, the implementation of Regulation 4/13 of the Ministry of the Environment and the calculation of thermal losses were examined. The operation of the ventilated roof structure was investigated by thermal imaging of the attic floor and the moisture-technical operation with the diffusion table. The implementation of additional thermal insulation and the regulations and guidelines related to the roof structure were evaluated on the basis of the results of a questionnaire conducted to the residents.

The effect of additional heat insulation on the electricity consumption of the building was investigated by the actual electricity consumption, which was compared to the calculated energy consumption. Consistent savings in electricity consumption were between -2.6% and 4.2%. According to computational energy consumption, savings would have accumulated from 5.25% to 13.2%. The differences were assumed to be due to the use of heat pumps and fireplaces for heating the buildings. The differences between electricity consumption and estimated electricity consumption according to the Energy Certificates were between -43% and 1,1 %. The differences were supposed to be due to residents' living habits.

**Keywords** Additional insulation, energy efficiency, electricity consumption.

**Pages** 121 pages including appendices 62 pages

# SISÄLLYS

JOHDANTO .....	1
1 TUULETUSTILALLISEN YLÄPOHJAN TEORIA .....	2
1.1 Yläpohjan kosteusrasitukset ja tuuletus .....	2
1.2 Yläpohjaan sijoitettu talotekniikka .....	3
2 LISÄLÄMMÖNERISTÄMINEN PUHALLUSVILLALLA .....	5
2.1 Selluvilla .....	5
2.2 Lasivilla .....	6
2.3 Kivivilla .....	6
2.4 Toimenpiteet ennen eristystä .....	6
3 TUTKIMUSKOhteET JA -MENETELMÄT .....	7
3.1 Tutkimuskohteet .....	7
3.1.1 Talo 1 .....	7
3.1.2 Talo 2 .....	7
3.1.3 Talo 3 .....	8
3.2 Tutkimusmenetelmät .....	8
3.2.1 Rakenteiden energiatehokkuuden muutokset .....	8
3.2.2 Lämpö- ja kosteustekniset tutkimukset .....	8
3.2.3 Sähkön- ja energiankulutusten vertailu .....	9
4 YLÄPOHJEN U-ARVOJEN MUUTOKSET .....	9
4.1 Yläpohjan U-arvot, Talo 1 .....	10
4.2 Yläpohjan U-arvot, Talo 2 .....	11
4.3 Yläpohjan U-arvot, Talo 3 .....	12
5 RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN KORJAUS- JA MUUTOSTÖISSÄ .....	13
5.1 YM 4/2013, 4 § .....	13
5.1.1 Rakennusosakohtaiset vaatimukset .....	14
5.2 YM 4/2013, 6 § .....	15
5.2.1 Energiankulutusvaatimukset .....	15
5.3 YM 4/2013, 7 § .....	16
5.3.1 E-luku, vaatimuksenmukaisuus .....	17
6 LASKENNALLINEN RAKENNUSOSAKOHTAINEN LÄMPÖHÄVIÖ .....	18
6.1 Yläpohjan lämpöhäviö, Talo 1 .....	19
6.2 Yläpohjan lämpöhäviö, Talo 2 .....	21
6.3 Yläpohjan lämpöhäviö, Talo 3 .....	24
7 LÄMPÖKUVAUS .....	26
7.1 Yläpohjan lämpökuvat puhallusvillalla .....	26
7.2 Yläpohjan lämpökuvat ilman puhallusvillaa .....	28

7.2.1	Yhteenveto .....	30
8	KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA.....	31
8.1	Diffuusiotaulukko .....	32
8.1.1	Yhteenveto .....	32
9	VANHAN JA UUDEN RAKENTEEN SÄHKÖNKULUTUKSEN VERTAILU .....	33
9.1	Toteutuneet kulutuslukemat, Talo 1.....	34
9.1.1	Todellisen ja laskennallisen säästön erot, Talo 1 .....	35
9.1.2	Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika, Talo 1.....	36
9.1.3	Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaan, Talo 1 .....	37
9.2	Toteutuneet kulutuslukemat, Talo 2.....	38
9.2.1	Todellisen ja laskennallisen säästön erot, Talo 2 .....	38
9.2.2	Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika, Talo 2.....	40
9.2.3	Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaan, Talo 2 .....	41
9.3	Toteutuneet kulutuslukemat, Talo 3.....	42
9.3.1	Todellisen ja laskennallisen säästön erot, Talo 3 .....	43
9.3.2	Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika, Talo 3.....	44
9.3.3	Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaan, Talo 3 .....	45
9.4	Yhteenveto .....	46
10	LISÄLÄMMÖNERISTYKSEN TOTEUTUS.....	47
10.1	Asukkaiden tyytyväisyys.....	47
10.1.1	Asukkaiden kommentteja.....	49
10.2	Urakoitsijoiden toteutukset ja määräysten mukaisuus .....	49
10.2.1	Toteutukseen liittyvät mahdolliset ongelmat .....	51
11	TUTKIMUKSEN YHTEENVETO.....	53
11.1	Rakenteelliset huomiot .....	53
11.2	YM 4/2013 -asetuksenmukaisuus .....	53
11.3	Lämpökuvaus ja kosteustekninen toiminta .....	54
11.4	Toteutuneet sähkönkulutusten muutokset .....	54
11.5	Mielipiteet ja suositukset .....	57
	LÄHTEET .....	58

## Liitteet

Liite 1	Talo 1, Kysely
Liite 2	Talo 2, Kysely
Liite 3	Talo 3, Kysely
Liite 4	Energiaselvitykset, Talo 1
Liite 5	Energiaselvitykset, Talo 2
Liite 6	Energiaselvitykset, Talo 3
Liite 7	Energiatodistukset, Talo 1
Liite 8	Energiatodistukset, Talo 2
Liite 9	Energiatodistukset, Talo 3

Liite 10	Lämpötaseen kaava ja merkinnät
Liite 11	Lämpö- ja kosteustase
Liite 12	Diffuusiotaulukot, Talo 2 ja 3
Liite 13	Talo 1, toteutuneet kulutukset ennen eristystä
Liite 14	Talo 1, toteutuneet kulutukset eristyksen jälkeen
Liite 15	Talo 2, toteutuneet kulutukset ennen eristystä
Liite 16	Talo 2, toteutuneet kulutukset eristyksen jälkeen
Liite 17	Talo 3, toteutuneet kulutukset ennen eristystä
Liite 18	Talo 3, toteutuneet kulutukset eristyksen jälkeen

## JOHDANTO

Opinnäytetyöni aihe valikoitui oman kiinnostukseni mukaan omakotitalojen energiatehokkuuden parantamiseen. Työhöni valikoitui kolme omakotitaloa, jotka ovat rakenteeltaan samantyyllisiä, samalta aikakaudelta ja suorasähkölämmitteisiä. Kaikkiin taloihin oli lisäksi toteutettu tuuletustilallisen yläpohjan lisälämmöneristys samalla materiaalilla. Kohteiden energiankulutuksen vertailu toteutuneiden sähkönkulutuksien mukaan oli yksinkertaista verrattuna esimerkiksi öljy-, puu- tai kaukolämpölämmitteisiin taloihin.

Työssäni perehdytään ensin tyypillisen harjakattoisen omakotitalon tuuletustilallisen yläpohjan rakenteelliseen toimivuuteen sekä määräysten ja ohjeiden mukaisuuteen, joita esitetään Suomen rakentamismääräyskoelman eri osissa sekä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisussa 107-2012.

Työssäni tutkitaan kohteiden lämmöneristävyiden parannusta yläpohjan lisälämmöneristämisen vaikutuksesta, jotka todetaan U-arvon laskennalla; lisäksi todetaan, onko ratkaisu ympäristöministeriön asetuksen 4/13, *Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä*, mukainen. Rakenteiden energiansäästöä arvioidaan rakenneosakohtaisella lämpöhäviölaskennalla.

Yläpohjan teknistä toimintaa tutkitaan lämpökuvausten avulla, jolla voidaan havaita erot lisälämmöneristämättömään yläpohjaan verrattuna. Kosteusteknisen toiminnan tutkimiseen käytetään lämpö- ja kosteusta-setta, joiden pohjalta laaditaan diffuusiotaulukko.

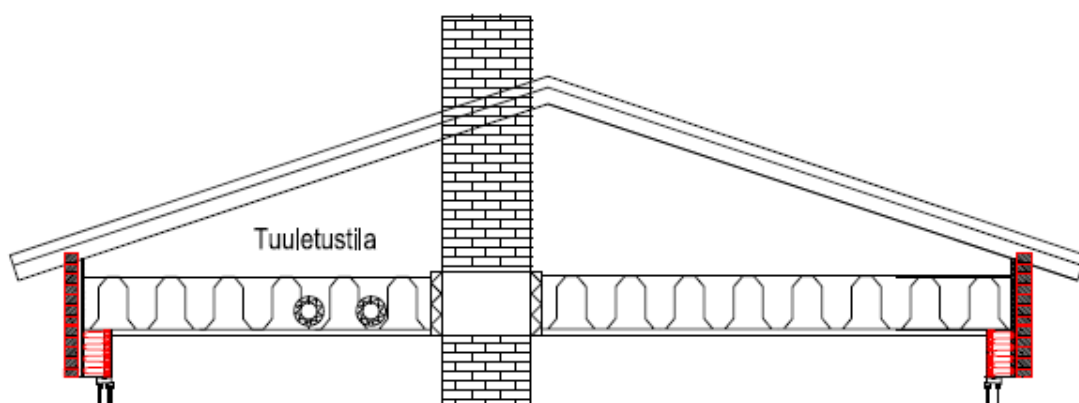
Kohdetalojen todellisten sähkönkulutusten vertailu laskennallisiin energiankulutuksiin tehdään vertailemalla sähkönkulutusta vuosi- ja kuukausitasolla. Lisäksi lasketaan lisälämmöneristykselle takaisinmaksuaika. Samoin selvitetään toteutuneiden sähkönkulutusten ja laskennallisten energiankulutusten eroja ja niiden mahdollisia syitä.

Lopuksi kohdetalojen asukkaiden täyttämien kyselyiden avulla arvioidaan lisälämmöneristyksen hyötyjä ja haittoja. Lisäksi selvitetään toteutukseen liittyviä seikkoja ja mahdollisia ongelmia.

# 1 TUULETUSTILALLISEN YLÄPOHJAN TEORIA

Harjakattoisen talon yläpohjarakenteet ovat pääsääntöisesti puuta, joten yläpohjan kosteusolosuhteet eivät saa nousta kriittiselle tasolle puun home- ja lahovaurioita ajatellen. Tuuletustilan (Kuva 1) kosteusolosuhteisiin vaikuttaa vesihöyryn diffuusiona sisätiloista siirtyvä kosteus yläpohjarakenteen läpi, sisätiloista vuotoilman mukana siirtyvä kosteus sekä katon tuuletuksen ilmavirran mukana siirtyvä kosteus. Oman kosteuslisänsä yläpohjaan saattavat tuottaa myös seinärakenteiden tuuletusrakenteet.

Yläpohjaan sijoitetuille taloteknisille osille on omat määräykset ja ohjeet Suomen rakentamismääräyskokoelmassa.



Kuva 1. Harjakattoisen talon tuuletustila (Kotonen 2017).

## 1.1 Yläpohjan kosteusrasitukset ja tuuletus

Puurakenteisen yläpohjan rakenteessa tulee ottaa huomioon rakennuksen sisäpuolen aiheuttama kosteusrasitus. Sisäpuolelle rakenteeseen asennetaan ilman-/höyrynsulku, joka estää haitallisen kosteus- ja ilmavirran rakenteen eristekerrokseen. Ilman-/höyrynsulku tiivistetään saumoistaan ja läpivienneistä niin, ettei ilmavirtauksia yläpohjaan pääse syntymään. Yläpohjan ilman-/höyrynsulku liitetään tiiviisti seinärakenteiden ilman-/höyrynsulkuun. (RIL 107-2012, 101; RakMK C2 1998, 14.)

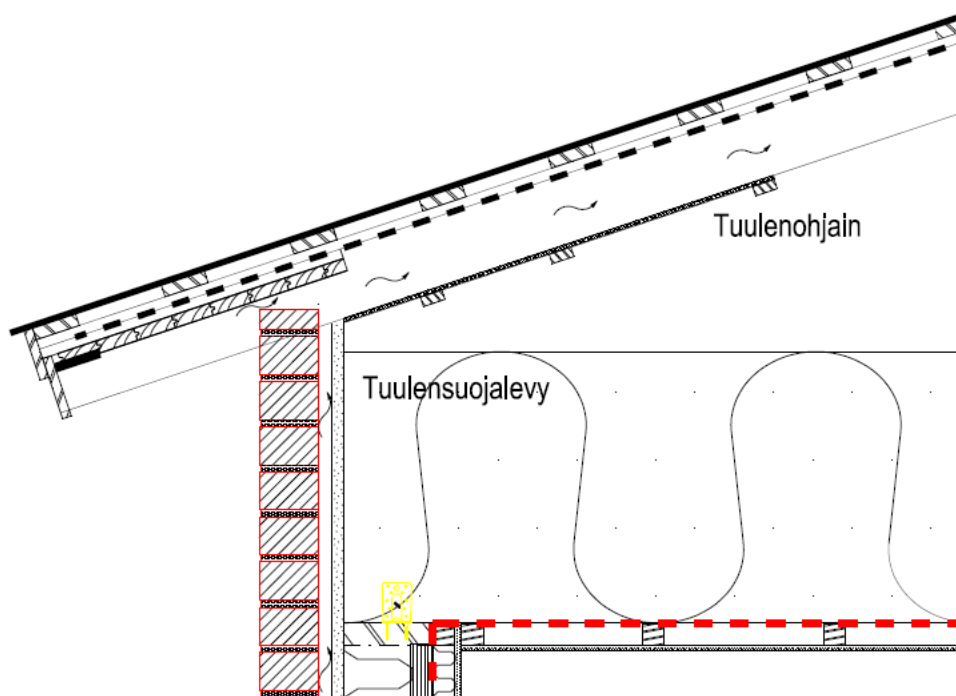
Harjakattoisissa taloissa tuuletustilaa tuuletetaan yleensä alaräystäillä olevien tuuletusrakojen sekä päätykolmioiden yläosiin asennettujen tuuletussäleikköjen kautta. Tuuletus toimii painovoimaisesti. Tuuletusraoksi yleensä riittää 20 mm:n rako alaräystäillä sekä 200\*200 mm:n säleiköt päätykolmioissa. (RakMK C2 1998, 14.)

Lisäksi seinärakenteiden tuuletuksen varmistamiseksi tulisi tuuletusvälin jatkoksi asentaa tuulensuojalevyt, jotka ohjaavat kosteuden vähintään yläpohjan lämmöneristeen yläpuolelle, mieluiten koko rakenteen yläreunaan.



Myös vesikatteen tulee olla rakenteeltaan sellainen, ettei mahdollinen kondenssivesi pääse yläpohjan eristeisiin; tämä voidaan estää esimerkiksi aluskatteella.

Alaräystäille tulisi asentaa tuulenohjaimet kattotuolien väliin, jotta ilma-virta ei pääsisi suoraan eristepintaan ja tuuletus olisi hallittua (Kuva 2).



Kuva 2. Tuulensuojalevy ja tuulenohjain (Kotonen 2017).

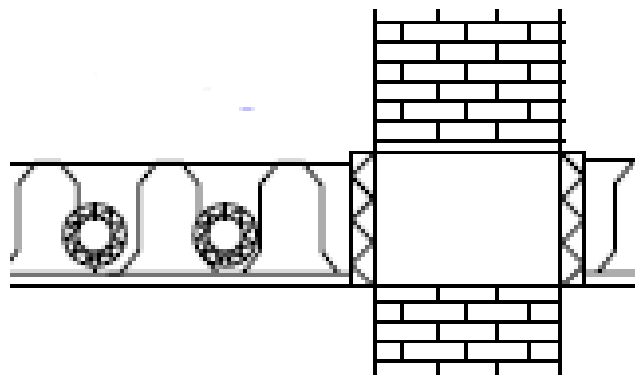
## 1.2 Yläpohjaan sijoitettu talotekniikka

Paikallamuurattujen savupiippujen ja -hormien etäisyys muihin kuin A1-luokan rakennustarvikkeisiin on oltava vähintään 100 mm piipun tai hormin ulkopinnasta. Väli- tai yläpohjan läpimenokohdassa ja seinien liittymissä tulee asentaa vähintään 100 mm A1-luokan lämmöneristettä (Kuva 3). (Ympäristöministeriön asetus savupiippujen rakenteista ja paloturvallisuudesta 2017, 6 §.)

Ilmanvaihtokanavien kulkiessa yläpohjassa on eristys toteutettava huolella. Raitis- ja jäteilmakanavat tulee eristää diffuusiotiiviiksi, jotta kondensoitumista eristeen sekaan ei tapahdu. Tulo- ja poistoilmakanavat tulee lämmöneristää kanavakoon suositusten mukaisesti. Keittiön liesituuletti-men kanava on eristettävä vähintään EI 30 -luokkaan esimerkiksi rasvapalon mahdollisuuden vuoksi. (RakMK D2 2012, 21; RakMK E7 2004, 5.)

Viemärin tuuletusputki, joka johtaa tuuletustilan kautta katolle, tulee lämmöneristää, jotta putkisto ei jäädy eikä kondensoitumista eristeen sekaan tapahdu (RakMK D1 2007, 26).

Lisäksi tulee varmistua siitä, ettei ilmanvaihdon jäteilmaa tai viemäreiden tuuletusilmaa johdeta yläpohjan tuuletustilaan. Kaikki talotekniikan osat tulee lämmöneristää niin, ettei yläpohjan lämpötila nouse talvisin liian korkeaksi. (RIL 107-2012, 91.)



Kuva 3. Kanavien ja savupiipun eristeet (Kotonen 2017).

## 2 LISÄLÄMMÖNERISTÄMINEN PUHALLUSVILLALLA

Harjakattoisen, tuuletustilallisen yläpohjan eristäminen puhallusvillalla on työsuoritteena nopeaa ja helppoa. Eriste puhalletaan kohteeseen puhallusvillakoneella, joka samalla löyhentää kuljetuspakkauksiin pakattua eristettä. Puhallusvillaeristeillä saadaan saumaton eristys, joka auttaa pienentämään saneerauskohteissa eristelevyjen saumojen sekä eristeeseen liittyvien rakenteiden välisiä lämpöhäviöitä.



Kuva 4. Puhallusvillaa yläpohjassa, Talo 1 (Kotonen 2017).

Yleisimmät puhallusvillaeristeet ovat sellu-, lasi- ja kivivilla.

### 2.1 Selluvilla

Ekovilla-eristeet valmistetaan valikoidusta sanomalehtikeräyspaperista, johon lisätään palonestoaineita. Eristeet soveltuvat uudis- ja korjausrakentamiseen sekä lisäeristämiseen. Ruiskutettavat ja puhallettavat Ekovilla-eristeet muodostavat saumattoman ja kaikki kolot täyttävän eristekerroksen. Ekovilla ei sula korkeissa lämpötiloissa, vaan hiiltyy kuten massiivipuu. Ominaisuus suojaa tehokkaasti eristeen sisällä olevia rakenteita. Ekovillan hiiltymisnopeus on 50...150 mm tunnissa.

Palo-ominaisuus: D-europaloluokka  
Korkein käyttölämpötila: Ei ilmoitettu  
Lämmönjohtavuus 0,039 W/mK  
(Ekovilla n.d.)

## 2.2 Lasivilla

ISOVER InsulSafe® on puhallusvillaeristeeksi valmistettu tuote, jonka pääasiallisia käyttökohteita ovat vaakasuorat ( $< 1:4$ ) yläpohjat sekä ontelomalliset yläpohjarakenteet. InsulSafe sopii eristeeksi uudisrakentamisessa ja myös korjausrakentamisessa, kun yläpohjia lisäeristetään. InsulSafe on turvallinen lisäeriste riippumatta siitä, mitä (mineraalivilla, puukuitueriste, sahanpuru) vanha käytetty eristemateriaali on.

Palo-ominaisuus: A1-europololuokka

Korkein käyttölämpötila: 200 °C

Lämmönjohtavuus: 0,041 W/(m<sup>2</sup>K)

(Isover 2017.)

## 2.3 Kivivilla

Turvallinen ja ympäristöystävällinen puhallusvilla ja villapuru sopivat erityisesti yläpohjien eristämiseen. Puhallusvilla on nykyään yleisin harjakattotalojen eriste. Puhallusvillaa voidaan käyttää uusissa rakennuksissa sekä lisäeristeenä.

Palo-ominaisuus: A1-europololuokka

Korkein käyttölämpötila: +200 °C, eristyskyky ei heikkene

Lämmönjohtavuus: 0,041 W/(m<sup>2</sup>K)

(Paroc 2017.)

## 2.4 Toimenpiteet ennen eristystä

Ennen puhallusvillan asennusta tuuletustilaan rakennuksen omistajan tulisi selvittää seuraavat seikat:

- ilman-/höyrynsulun riittävä tiiveys
- toimiva yläpohjan tuuletus räystäillä ja päätykolmioissa
- seinien tuuletusvälien vapaa tuuletus
- tuulenohjainten asennus
- savupiippujen määräysten mukainen eristys
- ilmanvaihtokanavien määräysten mukainen eristys
- viemärin tuuletusputken määräysten mukainen eristys
- kulkusillan asennus ja/tai riittävä korkeus.

### 3 TUTKIMUSKOhteET JA -MENETELMÄT

Seuraavaksi käsitellään tutkimuksen kohdetalojen lähtötietoja ja yläpohjan lisälämmöneristysten tutkimiseen valittuja aihealueita.

#### 3.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteiksi valitut kohdetalot sijaitsevat Uudellamaalla ja samalla asuinalueella. Rakennusvuodet sijoittuvat vuosille 1975–1977. Rakennukset ovat yksikerroksisia, tiiliverhoiltuja taloja, joissa on tuuletustilallinen harjakatto, joten yläpohjan lisäeristäminen puhallusvillaalla on ollut yksinkertaista toteuttaa. Kaikkiin taloihin oli asennettu selluvilla yläpohjan lisälämmöneristeeksi. Taloissa ovat asuneet samat asukkaat koko tutkimuksen vertailuvälin ajan, joten sähkönkulutuksen muutoksien oletetaan johtuneen energiankulutukseen vaikuttaneista korjaustoimenpiteistä. Talon tiedot on kerätty asukkaiden täyttämistä kyselylomakkeista (liitteet 1–3).

##### 3.1.1 Talo 1

Rakennusvuosi:	1977
Pinta-ala:	189 m <sup>2</sup>
Lämmitys:	Suora sähkö, ilmalämpöpumppu, varaava takka
Ilmanvaihto:	LTO-kone, osittain painovoimainen
Tehdyt korjaukset:	Yläpohjan lisälämmöneristys 5/2015, LTO-kone 2004
Asukkaita:	1
Yläpohjan lisälämmöneriste:	Selluvilla 200 mm

##### 3.1.2 Talo 2

Rakennusvuosi:	1975
Pinta-ala:	117 m <sup>2</sup>
Lämmitys:	Suora sähkö, ilmalämpöpumppu, kiertoilmatakat
Ilmanvaihto:	Painovoimainen
Tehdyt korjaukset:	Yläpohjan lisälämmöneristys 9/2016, ikkunoiden ja ulko-ovien uusinta 5/2016
Asukkaita:	2
Yläpohjan lisälämmöneriste:	Selluvilla 150 mm

### 3.1.3 Talo 3

Rakennusvuosi:	1974
Pinta-ala:	138 m <sup>2</sup>
Lämmitys:	Suorasähkö, ilmalämpöpumppu
Ilmanvaihto:	LTO-kone
Tehdyt korjaukset:	Yläpohjan lisälämmöneristys 12/2015, Ikkunoiden vaihto 5/97, Ulko-ovien vaihto 9/2010,
LTO-kone 97	
Asukkaita:	2
Yläpohjan lisälämmöneriste:	Selluvilla 300 mm

## 3.2 Tutkimusmenetelmät

Kohdetalojen yläpohjien lisälämmöneristysten tutkimisaiheina olivat yläpohjarakenteiden energiatehokkuuden muutokset, lämpö- ja kosteustekniset tutkimukset sekä sähkön- ja energiankulutusten vertailu.

### 3.2.1 Rakenteiden energiatehokkuuden muutokset

Kohdetalojen U-arvot laskettiin asukkaiden antamien lähtötietojen ja rakennekuvien perusteella käyttäen Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C4.

Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 *Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä* mukaisuutta tutkittiin pykälien 4, 6 ja 7 mukaisesti. Näiden selvitykseen kohdetaloille laskettiin energiaselvitykset ja -todistukset, joiden perusteella voitiin todeta ympäristöministeriön asetuksen pykälien 6 ja 7 mukaisuus.

Yläpohjien lämpöhäviöt laskettiin vanhalle ja uudelle rakenteelle Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D5 noudattaen.

### 3.2.2 Lämpö- ja kosteustekniset tutkimukset

Lämpökuvauksien avulla tutkittiin yläpohjien teknistä toimintaa. Lämpökuvauksella verrattiin kahden eri tyyppisen yläpohjaeristeen pintalämpötiloja normaaleissa käyttöolosuhteissa; näitä olivat puhallusvillalla, selluvillaa käyttäen eristetty yläpohja sekä lasivillalla, rulla- ja levyvillalla eristetty yläpohja.

Kosteustekninen toiminta tutkittiin laskemalla yläpohjarakenteille lämpö- ja kosteustase, minkä perusteella saatiin lähtöarvot yläpohjissa vallitseville olosuhteille diffuusiotaulukon laskentaa varten.

### 3.2.3 Sähkön- ja energiankulutusten vertailu

Vanhan ja uuden rakenteen todellisten sähkönkulutusten vertailu suoritettiin kohdetaloille käyttäen mitattuja sähkönkulutuslukemia sekä Helsingin kuukausittaisia lämpötiloja. Toteutuneita sähkönkulutuslukemia verrattiin rakennusosakohtaisen lämpöhäviön laskennallisen energiankulutuksen säästöihin. Samalla laskettiin yläpohjan lisälämmöneristykselle takaisinmaksuaika todellisten sähkönkulutusten suhteen.

## 4 YLÄPOHJEN U-ARVOJEN MUUTOKSET

Kohteiden yläpohjien U-arvojen laskennassa vanhan rakenteen osalta käytetään Rakentamismääräyskokoelma C4:n mukaisia arvoja (RakMK C4 2012, 6–7, 17–21). Vanhojen rakenteiden tiedot saatiin alkuperäisistä rakennekuvista sekä asukkaiden täyttämistä kyselylomakkeista (liitteet 1–3). Uuden, lisälämmöneristyksellä täydennetyn rakenteen laskenta suoritettiin kuten edellä, mutta puhallettavan selluvillan lämmönjohtavuuden,  $\lambda_d$ , arvona käytetään selluvillaeristeen valmistajien ilmoittaman arvon keskiarvoa,  $\lambda_d=0,040 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ . (ETA-13/0213/2013, 4; Ekovilla n.d.)

U-arvo lasketaan rakenteiden lämmönjohtavuuden ja rakenteiden paksuuden suhteen

$$U = 1 / R_T \quad (1.)$$

Tasa-aineisten ja -paksujen ainekerrosten kokonaislämmönvastus  $R_T$  lasketaan kaavalla

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{se} \quad (2.)$$

jossa  $R_1 = d_1 / \lambda_1, R_2 = d_2 / \lambda_2 \dots$

joissa  $d_x$  = materiaalikerroksen paksuus  
 $\lambda_x$  = materiaalikerroksen lämmönjohtavuus  
 $R_{si}$  = sisäpuolen pintavastus  
 $R_{se}$  = ulkopuolen pintavastus

(RakMK C4 2012, 7)

#### 4.1 Yläpohjan U-arvot, Talo 1

Yläpohjan rakenne ja U-arvo ennen lisälämmöneristystä sisältä ulospäin (Taulukko 1):

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22\*100 mm/tuulettumaton ilmarako
- höyrynsulkumuovi
- mineraalivilla 250 mm
- kokonaispaksuus 285 mm.

Taulukko 1. Talo 1, rakenteen vanha U-arvo.

Rakenteen U-arvo			
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R
Sisäpinta			0,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062
Harvalauta	0,022	0,144	0,153
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004
Mineraalivilla	0,25	0,05	5
Ulkopinta			0,04
	U-arvo	0,19	W/(m <sup>2</sup> K)

Yläpohjan rakenne ja U-arvo lisälämmöneristysten jälkeen sisältä ulospäin (Taulukko 2):

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22\*100 mm/tuulettumaton ilmarako
- höyrynsulkumuovi
- mineraalivilla 250 mm
- selluvilla 200 mm
- kokonaispaksuus 285 mm.

Taulukko 2. Talo 1, rakenteen uusi U-arvo.

Rakenteen U-arvo			
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R
Sisäpinta			0,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062
Harvalauta	0,022	0,144	0,153
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004
Mineraalivilla	0,25	0,05	5
Selluvilla	0,2	0,04	5
Ulkopinta			0,04
	U-arvo	0,10	W/(m <sup>2</sup> K)



#### 4.2 Yläpohjan U-arvot, Talo 2

Yläpohjan rakenne ja U-arvo ennen lisälämmöneristystä sisältä ulospäin (Taulukko 3):

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22\*100 mm/tuulettumaton ilmarako
- höyrynsulkumuovi
- mineraalivilla 225 mm
- kokonaispaksuus 260 mm.

Taulukko 3. Talo 2, rakenteen vanha U-arvo.

Rakenteen U-arvo			
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R
Sisäpinta			0,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062
Harvalauta	0,022	0,144	0,153
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004
Mineraalivilla	0,225	0,05	4,5
Ulkopinta			0,04
	U-arvo	0,21	W/(m <sup>2</sup> K)

Yläpohjan rakenne ja U-arvo lisälämmöneristuksen jälkeen sisältä ulospäin (Taulukko 4):

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22\*100 mm/tuulettumaton ilmarako
- höyrynsulkumuovi
- mineraalivilla 225 mm
- selluvilla 150 mm
- kokonaispaksuus 410 mm.

Taulukko 4. Talo 2, rakenteen uusi U-arvo.

Rakenteen U-arvo			
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R
Sisäpinta			0,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062
Harvalauta	0,022	0,144	0,153
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004
Mineraalivilla	0,225	0,05	4,5
Selluvilla	0,15	0,04	3,75
Ulkopinta			0,04
	U-arvo	0,12	W/(m <sup>2</sup> K)

### 4.3 Yläpohjan U-arvot, Talo 3

Yläpohjan rakenne ja U-arvo ennen lisälämmöneristystä sisältä ulospäin (Taulukko 5):

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22\*100 mm/tuulettumaton ilmarako
- höyrynsulkumuovi
- mineraalivilla 200 mm
- kokonaispaksuus 235 mm.

Taulukko 5. Talo 3, rakenteen vanha U-arvo.

Rakenteen U-arvo			
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R
Sisäpinta			0,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062
Harvalauta	0,022	0,144	0,153
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004
Mineraalivilla	0,2	0,05	4
Ulkopinta			0,04
	U-arvo	0,23	W/(m <sup>2</sup> K)

Yläpohjan rakenne ja U-arvo lisälämmöneristuksen jälkeen sisältä ulospäin (Taulukko 6):

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22\*100 mm/tuulettumaton ilmarako
- höyrynsulkumuovi
- mineraalivilla 200 mm
- selluvilla 300 mm
- kokonaispaksuus 535 mm.

Taulukko 6. Talo 3, rakenteen uusi U-arvo.

Rakenteen U-arvo			
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R
Sisäpinta			0,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062
Harvalauta	0,022	0,144	0,153
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004
Mineraalivilla	0,2	0,05	4
Selluvilla	0,3	0,04	7,5
Ulkopinta			0,04
	U-arvo	0,08	W/(m <sup>2</sup> K)

## 5 RAKENNUKSEN ENERGIAITEHOKKUUDEN PARANTAMINEN KORJAUS- JA MUUTOSTÖISSÄ

Tutkimuskohteina olleiden talojen yläpohjien lisälämmöneristysten vaatimuksien mukaisuutta tutkitaan ympäristöministeriön asetuksen 4/13, *rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä*, mukaisesti.

Korjaus- ja muutostöiden ollessa laajoja ja luvanvaraisia on rakennushankkeeseen ryhtyvän selvitettävä, millä keinoin rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan. YM 4/13, 8 § antaa kolme vaihtoehtoista tapaa:

- *Rakennus täyttää peruskorjattavien, uudistettavien ja uusien rakennusosien osalta 4 §:ssä säädettyt rakennusosakohtaiset vaatimukset.*
- *Rakennuksen energiankulutus on enintään 6 §:ssä säädettyjen vaatimusten mukainen.*
- *Rakennuksen kokonaisenergiankulutus on enintään 7 §:ssä säädettyjen vaatimusten mukainen.*

(Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 2013, 1–3).

### 5.1 YM 4/13, 4 §

4 §:ssä, *Rakennusosakohtaiset vaatimukset* -kohdassa todetaan, että jos energiatehokkuutta parannetaan rakennusosakohtaisesti, tällöin yläpohjien osalta noudatetaan seuraavaa:

alkuperäinen U-arvo  $\times 0,5$ , kuitenkin enintään  $0.09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Uuden U-arvon tulisi pienentyä 50 % tai saavuttaa uudisrakennusten vaatimuksena käytettävä  $0.09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , jotta rakennusosakohtainen asetus täyttyisi. Rakennuksen muutostöihin lupaa haettaessa tulee näyttää todeksi, että asetuksen mukainen vaatimus täyttyy. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 2013, 2.)

### 5.1.1 Rakennusosakohtaiset vaatimukset

Kohdetalojen yläpohjien rakenneosakohtaiset muutokset U-arvon perusteella ovat seuraavat (Taulukot 7–9):

Taulukko 7. Talo 1, U-arvon muutos.

Talo 1		
U-arvon muutos		
Alkuperäinen U-arvo	0,19	W/(m <sup>2</sup> K)
Uusi U-arvo	0,10	W/(m <sup>2</sup> K)
U-arvo*0,5	0,95	W/(m <sup>2</sup> K)
Enintään 0,09 W(m <sup>2</sup> K)	Ei	

Toteutettu ratkaisu ei täytä asetuksen 4 §:n vaatimuksia:

- U-arvo\*0,5 tulisi olla 0,95 W/(m<sup>2</sup>K)
- U-arvo sai olla enintään 0,09 W/(m<sup>2</sup>K)
- U-arvo parani 47,4 %.

Taulukko 8. Talo 2, U-arvon muutos.

Talo 2		
U-arvon muutos		
Alkuperäinen U-arvo	0,21	W/(m <sup>2</sup> K)
Uusi U-arvo	0,12	W/(m <sup>2</sup> K)
U-arvo*0,5	0,105	W/(m <sup>2</sup> K)
Enintään 0,09 W(m <sup>2</sup> K)	Ei	

Toteutettu ratkaisu ei täytä asetuksen 4 §:n vaatimuksia:

- U-arvo\*0,5 tulisi olla 0,105 W/(m<sup>2</sup>K)
- U-arvo sai olla enintään 0,09 W/(m<sup>2</sup>K)
- U-arvo parani 42,6 %.

Taulukko 9. Talo 3, U-arvon muutos.

Talo 3		
U-arvon muutos		
Alkuperäinen U-arvo	0,23	W/(m <sup>2</sup> K)
Uusi U-arvo	0,08	W/(m <sup>2</sup> K)
U-arvo*0,5	0,115	W/(m <sup>2</sup> K)
Enintään 0,09 W(m <sup>2</sup> K)	Kyllä	

Toteutettu ratkaisu täyttää asetuksen 4 §:n vaatimukset

- U-arvo\*0,5 tuli olla 0,115 W/(m<sup>2</sup>K)
- U-arvon sai olla enintään 0,09 W/(m<sup>2</sup>K)
- U-arvo parani 65,2 %.

Kohteiden yläpohjien U-arvot paranivat selvästi, 42,6 - 65,2 %. Talot 1 ja 2 eivät kuitenkaan täyttäneet vaadittua tasoa muutosten osalta. Ainoastaan Talo 3:n U-arvon parannus ylsi ympäristöministeriön asetuksen 4/13, 4 §:n mukaisiin arvoihin. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 2013, 2.)

## 5.2 YM 4/13, 6 §

6 §:ssä, *Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain* -kohdassa todetaan, että jos rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä, on rakennusluokittain noudatettava seuraavia energiankulutuksen vaatimuksia:

Pien-, rivi- ja ketjutalo  $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$

Standardikäyttöön perustuva energiankulutus, Rakek, saadaan rakennuksen energiaselvityksestä (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 2013, 3).

### 5.2.1 Energiankulutusvaatimukset

Standardikäyttöön perustuva energiankulutus laskettiin käyttämällä CADS 17.0 -ohjelmaa. Energiankulutus laskettiin asukkailta saatujen tietojen mukaan ja vanhoja rakennekuvia hyödyntäen. Laskennassa oli mukana jo aiemmin asennetut takat ja ilmalämpöpumput, ja laskenta keskittyi vain yläpohjan lisälämmöneristyksen aiheuttamiin muutoksiin energiankulutuksessa.

Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 6 §:ää käytettäessä rakennuksen tulee täyttää vaatimus:

Pien-, rivi- ja ketjutalo  $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$

Talo 1:n uuden rakenteen kohdalla laskettu rakennuksen energiankulutus, Rakek, oli  $129 \text{ kWh/m}^2$ , joten asetuksen määräys toteutuu (Liite 4).

Talo 2: n uuden rakenteen kohdalla laskettu rakennuksen energiankulutus, Rakek, oli  $140 \text{ kWh/m}^2$ , joten asetuksen määräys toteutuu (Liite 5).

Talo 3:n uuden rakenteen kohdalla laskettu rakennuksen energiankulutus, Rakek, oli  $142 \text{ kWh/m}^2$ , joten asetuksen määräys toteutuu (Liite 6).

Kaikkien kohdetalojen kohdalla asetuksen mukaisuus toteutui jo ennen yläpohjan lisälämmöneristystä, jolloin rakennuslupaa haettaessa korjaus- ja muutostöihin voidaan esittää korjausta YM 4/13:n 6 §:n mukaisesti.

### 5.3 YM 4/13, 7 §

7 §:ssä, *E-luku-vaatimus rakennusluokittain* -kohdassa todetaan, että jos rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa kokonaisenergiankulutusta (E-luku,  $\text{kWh/m}^2$ ) pienentämällä, on rakennukselle ominainen rakennusluokan mukainen kulutus laskettava seuraavien kaavojen mukaisesti:

Pien-, rivi, ja ketjutalo:  $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$ ,

jossa lasketaan parhaan tietämyksen mukaan vanhojen rakenteiden U-arvot ja rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutukset ja tuotot, ja näiden arvojen antamaa E-lukua pienennetään niin, että tuleva E-luku on 80 % aiemmasta arvosta. Toteutukseen voi liittyä rakennusosakohtaisten U-arvojen parannus, teknisten järjestelmien parannus sekä takan tai ilmalämpöpumpun lisääminen. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 2013, 3)

### 5.3.1 E-luku, vaatimuksenmukaisuus

E-luku laskettiin käyttämällä CADS 17.0 -ohjelmaa. Talojen E-luvut laskettiin asukkailta saatujen tietojen mukaan ja vanhoja rakennekuvia hyödyn-täen. Laskennassa oli mukana jo aiemmin asennetut takat ja ilmalämpö-pumput, ja laskenta keskittyi vain yläpohjan lisälämmöneristysten aiheut-tamiin muutoksiin E-luvussa.

Talo 1:n E-luku ennen lisälämmöneristystä oli 267 kWh/m<sup>2</sup>. E-luku lisäläm-möneristuksen jälkeen oli 250 kWh/m<sup>2</sup>. Asetuksenmukainen arvo tulisi olla 213,7 kWh/m<sup>2</sup>, joten asetuksenmukaisuus ei toteudu. E-luku parani 6,4 %. Rakennuksen energiatehokkuusluokka pysyi luokassa E. Laskenta-arvot ja energiatodistus liitteessä (Liite 7).

Talo 2:n E-luku ennen lisälämmöneristystä oli 299 kWh/m<sup>2</sup>. E-luku lisäläm-möneristuksen jälkeen oli 275 kWh/m<sup>2</sup>. Asetuksenmukainen arvo tulisi olla 239,2 kWh/m<sup>2</sup>, joten asetuksenmukaisuus ei toteudu. E-luku parani 8 %. Rakennuksen energiatehokkuusluokka nousi luokasta E luokkaan D. Las-kenta-arvot ja energiatodistus liitteessä (Liite 8).

Talo 3:n E-luku ennen lisälämmöneristystä oli 305 kWh/m<sup>2</sup>. E-luku lisäläm-möneristuksen jälkeen oli 266 kWh/m<sup>2</sup>. Asetuksenmukainen arvo tulisi olla 244 kWh/m<sup>2</sup>, joten asetuksenmukaisuus ei toteudu. E-luku parani 12,8 %. Rakennuksen energiatehokkuusluokka pysyi luokassa E. Laskenta-arvot ja energiatodistus liitteessä (Liite 9)

Yhdessäkään kohdetaloista ei E-luku parantunut vaadittavalle tasolle yksis-tään yläpohjan lisälämmöneristysten johdosta. Rakennuslupaa haettaessa korjaus- ja muutostöihin voidaan esittää korjausta 7 §:n mukaisesti, jolloin voidaan ottaa aikaisemmat ja suunnitellut muutostyöt huomioon; niitä ovat ikkunoiden ja ovien vaihdot, ilmalämpöpumput ja takat. Näin ollen E-luku saataisiin pienennettyä asetuksenmukaiselle tasolle.

## 6 LASKENNALLINEN RAKENNUSOSAKOHTAINEN LÄMPÖHÄVIÖ

Kohdetalojen yläpohjille laskettiin rakennusosakohtaiset lämpöhäviölaskelmat vanhojen ja uusien rakenteiden U-arvojen mukaisesti. Laskelmat osoittavat yläpohjien lisälämmöneristysten laskennalliset säästöt energiankulutuksessa kWh:na ja euroina. Laskenta on suoritettu kuukausittaisen keskilämpötilojen mukaan ennen ja jälkeen lisäeristysten (RakMK D5 2012, 16). Laskentaan käytettiin seuraavaa kaavaa:

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta_t / 1000 \quad (3.)$$

jossa

$Q_{rakosa}$	= rakennusosan johtumislämpöhäviö, kWh
$U_i$	= rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)
$A_i$	= rakennusosan pinta-ala, m²
$T_s$	= sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	= ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta_t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

(RakMk D5 2012, 16)

Laskennassa  $T_u$  on korjattu termillä  $T_t$  tuuletustilan lämpötaseen mukaiseen lämpötilaan. Lämpötase ilmoittaa tuuletustilassa laskennallisesti vallitsevan lämpötilan. Lämpötaseessa ulkolämpötilat olivat kuukausittaisen keskilämpötilojen keskiarvojen mukaiset. Kaava ja merkinnät liitteenä (Liite 10), laskentaesimerkit liitteenä (Liite 11).

$$T_t = \frac{(A_{yp} \cdot U_{yp} + \dot{V}_{st} \cdot \rho \cdot c_p) \cdot (T_s) + (A_{vk} \cdot U_{vk} + \dot{V}_{tu} \cdot \rho_t \cdot c_p) \cdot (T_u)}{(A_{yp} \cdot U_{yp} + \dot{V}_{st} \cdot \rho \cdot c_p + A_{vk} \cdot U_{vk} + \dot{V}_{tu} \cdot \rho_t \cdot c_p)} \quad (4.)$$

(Knuutila 2017.)

Talojen 1 ja 3 kohdalla laskettiin vain yläpohjan lämpöhäviöt.

Talon 2 kohdalla mukaan laskettiin yläpohjan lisäksi myös ikkunoiden laskennalliset lämpöhäviöt, sillä rakennuksen ikkunat vaihdettiin 26.5.2016. Vanhojen kolmikerroslasillisten ikkunoiden U-arvoksi oletettiin 1,8. Uusien ikkunoiden U-arvo 1,0.



## 6.1 Yläpohjan lämpöhäviö, Talo 1

Lämpötaseen avulla saatiin määriteltyä kuukausittaisten keskilämpötilojen avulla yläpohjan tuuletustilan laskennallinen lämpötila (Taulukko 10), jonka perusteella saatiin laskettua yläpohjan laskennallinen lämpöhäviö (Taulukko 11). Laskenta suoritettiin sekä vanhalle että uudelle rakenteelle.

Taulukko 10. Talo 1, tuuletustilan lämpötila.

Talo 1	Vanha rakenne		Uusi rakenne	
	Ulkolämpötila °C	Tuuletustilan °C	Ulkolämpötila °C	Tuuletustilan °C
Tammikuu	-3,9	-2,0	Tammikuu	-5,4
Helmikuu	-0,3	1,3	Helmikuu	-0,9
Maaliskuu	-0,3	1,3	Maaliskuu	1,0
Huhtikuu	4,7	5,9	Huhtikuu	3,7
Toukokuu	10,7	11,5	Toukokuu	11,5
Kesäkuu	15,4	15,8	Kesäkuu	13,9
Heinäkuu	19,0	19,2	Heinäkuu	16,6
Elokuu	17,5	17,7	Elokuu	16,5
Syyskuu	12,8	13,4	Syyskuu	13,0
Lokakuu	7,1	8,1	Lokakuu	5,9
Marraskuu	3,9	5,2	Marraskuu	4,4
Joulukuu	1,2	2,7	Joulukuu	1,7

Taulukko 11. Talo 1, yläpohjan lämpöhäviö.

Yläpohjan vuosittainen lämpöhäviö						Talo 1					
Vanha rakenne	U-arvo	0,19	Pinta-ala	189 m <sup>2</sup>		Uusi rakenne	U-arvo	0,10	Pinta-ala	189 m <sup>2</sup>	
Sisälämpötila	21°C					Sisälämpötila	21°C				
	Tuuletustilan °C		kWh/kk				Tuuletustilan °C		kWh/kk		
Tammikuu	-2,0		614,1			Tammikuu	-3,9		349,5		
Helmikuu	1,3		474,5			Helmikuu	0,4		261,8		
Maaliskuu	1,3		525,3			Maaliskuu	2,1		266,0		
Huhtikuu	5,9		389,7			Huhtikuu	4,7		222,1		
Toukokuu	11,5		254,8			Toukokuu	12,0		126,7		
Kesäkuu	15,8		134,8			Kesäkuu	14,3		91,1		
Heinäkuu	19,2		49,3			Heinäkuu	16,8		58,4		
Elokuu	17,7		87,5			Elokuu	16,8		59,3		
Syyskuu	13,4		195,7			Syyskuu	13,5		102,7		
Lokakuu	8,1		344,0			Lokakuu	6,8		200,3		
Marraskuu	5,2		408,1			Marraskuu	5,3		213,7		
Joulukuu	2,7		488,3			Joulukuu	2,8		256,0		
Vuosittainen lämpöhäviö			3966 kWh/a			Vuosittainen lämpöhäviö			2208 kWh/a		
			476 €/a						265 €/a		
Laskennallinen säästö		1759 kWh/vuosi									
		211 €/vuosi									

Kaavan mukaan laskennallisesti lämpöhäviöiden olisi tullut pienentyä noin 1759 kWh/vuosi, jolloin kWh:n keskihinnan 0,12 € mukaisesti säästöä olisi kertynyt noin 211 €/vuosi (Taulukko 11).

## 6.2 Yläpohjan lämpöhäviö, Talo 2

Lämpötaseen avulla saatiin määriteltyä kuukausittaisten keskilämpötilojen avulla yläpohjan tuuletustilan laskennallinen lämpötila (Taulukko 12), jonka perusteella saatiin laskettua yläpohjan laskennallinen lämpöhäviö (Taulukko 13). Laskenta suoritettiin sekä vanhalle että uudelle rakenteelle. Vanhojen ja uusien ikkunoiden rakennusosakohtainen lämpöhäviölaskenta on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 12. Talo 2, tuuletustilan lämpötila.

Talo 2	Vanha rakenne		Uusi rakenne	
	Ulkolämpötila °C	Tuuletustilan °C	Ulkolämpötila °C	Tuuletustilan °C
Tammikuu	-5,2	-3,1	Tammikuu	-1,9
Helmikuu	0,4	2,0	Helmikuu	-2
Maaliskuu	1,7	3,2	Maaliskuu	1,1
Huhtikuu	5,2	6,4	Huhtikuu	2,7
Toukokuu	11,1	11,9	Toukokuu	9,3
Kesäkuu	13,9	14,5	Kesäkuu	13,5
Heinäkuu	17,9	18,1	Heinäkuu	15,9
Elokuu	17,1	17,4	Elokuu	16,1
Syyskuu	13,3	13,9	Syyskuu	12,65
Lokakuu	6,5	7,6	Lokakuu	5,5
Marraskuu	4,4	5,7	Marraskuu	0
Joulukuu	1,7	3,2	Joulukuu	0,2

Taulukko 13. Talo 2, yläpohjan lämpöhäviö.

Yläpohjan vuosittainen lämpöhäviö						Talo 2					
Vanha rakenne	U-arvo	0,21	Pinta-ala	117 m <sup>2</sup>		Uusi rakenne	U-arvo	0,12	Pinta-ala	117 m <sup>2</sup>	
Sisälämpötila	21°C					Sisälämpötila	21°C				
	Tuuletustilan °C		kWh/kk				Tuuletustilan °C		kWh/kk		
Tammikuu	-3,1		441,4			Tammikuu	-0,7		226,37		
Helmikuu	2,0		313,5			Helmikuu	-0,8		205,35		
Maaliskuu	3,2		325,2			Maaliskuu	2,2		196,71		
Huhtikuu	6,4		257,6			Huhtikuu	3,7		175,06		
Toukokuu	11,9		166,8			Toukokuu	9,9		115,65		
Kesäkuu	14,5		115,8			Kesäkuu	13,9		71,75		
Heinäkuu	18,1		52,2			Heinäkuu	16,2		50,41		
Elokuu	17,4		65,7			Elokuu	16,4		48,44		
Syyskuu	13,9		125,5			Syyskuu	13,1		79,88		
Lokakuu	7,6		244,3			Lokakuu	6,3		153,22		
Marraskuu	5,7		270,6			Marraskuu	1,1		200,89		
Joulukuu	3,2		325,2			Joulukuu	1,3		205,61		
Vuosittainen lämpöhäviö			2704 kWh/a			Vuosittainen lämpöhäviö			1729 kWh/a		
			324 €/a						208 €/a		
Laskennallinen säästö		974 kWh/vuosi									
		117 €/vuosi									

Taulukko 14. Talo 2, ikkunoiden lämpöhäviö.

Ikkunoiden vuosittainen lämpöhäviö						Talo 2					
Vanha rakenne	U-arvo	1,8	Pinta-ala	23 m <sup>2</sup>	Uusi rakenne	U-arvo	1	Pinta-ala	23 m <sup>2</sup>		
Sisälämpötila	21°C				Sisälämpötila	21°C					
	Ulkolämpötila, ka.					Ulkolämpötila, ka.					
			kWh/kk					kWh/kk			
Tammikuu	-5,2		807,0		Tammikuu	-1,9		391,9			
Helmikuu	0,4		573,1		Helmikuu	-2		355,5			
Maaliskuu	1,7		594,5		Maaliskuu	1,1		340,5			
Huhtikuu	5,2		471,0		Huhtikuu	2,7		303,0			
Toukokuu	11,1		304,9		Toukokuu	9,3		200,2			
Kesäkuu	13,9		211,6		Kesäkuu	13,5		124,2			
Heinäkuu	17,9		95,5		Heinäkuu	15,9		87,3			
Elokuu	17,1		120,1		Elokuu	16,1		83,8			
Syyskuu	13,3		229,5		Syyskuu	12,65		138,3			
Lokakuu	6,5		446,6		Lokakuu	5,5		265,2			
Marraskuu	4,4		494,8		Marraskuu	0		347,8			
Joulukuu	1,7		594,5		Joulukuu	0,2		355,9			
Vuosittainen lämpöhäviö			4943 kWh/a		Vuosittainen lämpöhäviö			2994 kWh/a			
			593 €/a					359 €/a			
Laskennallinen säästö			1949 kWh/vuosi								
			234 €/vuosi								

Kaavan mukaan laskennallisesti lämpöhäviöiden olisi tullut pienentyä yläpohjan osalta noin 974 kWh/vuosi (Taulukko 13), jolloin kWh:n keskihinnan 0,12 € mukaisesti säästöä olisi kertynyt noin 117 €/vuosi. Kaavan mukaan laskennallisesti lämpöhäviöiden olisi tullut pienentyä ikkunoiden osalta noin 1949 kWh/vuosi (Taulukko 13), jolloin kWh:n keskihinnan 0,12 € mukaisesti säästöä olisi kertynyt noin 234 €/vuosi. Yhteenlaskettuna yläpohjan lisälämmöneristeen ja ikkunoiden kokonaisvaikutus energiankulutuksen alenemiseen olisi noin 2924 kWh/vuosi ja 351 €/vuosi.

Prosentuaalisesti energian säästö jakautui yläpohjan osalle 33,3 % ja ikkunoiden osalle 66,7 %.

### 6.3 Yläpohjan lämpöhäviö, Talo 3

Lämpötaseen avulla saatiin määriteltä kuukausittaisten keskilämpötilojen avulla yläpohjan tuuletustilan laskennallinen lämpötila (Taulukko 15), jonka perusteella saatiin laskettua yläpohjan laskennallinen lämpöhäviö (Taulukko 16). Laskenta suoritettiin sekä vanhalle että uudelle rakenteelle.

Taulukko 15. Talo 3, tuuletustilan lämpötila.

Talo 3	Vanha rakenne		Uusi rakenne	
	Ulkolämpötila °C	Tuuletustilan °C	Ulkolämpötila °C	Tuuletustilan °C
Tammikuu	-3,4	-0,2	Tammikuu	-5,35
Helmikuu	0,5	3,2	Helmikuu	-0,9
Maaliskuu	2,2	4,7	Maaliskuu	1
Huhtikuu	5,5	7,6	Huhtikuu	3,7
Toukokuu	9,8	11,3	Toukokuu	11,5
Kesäkuu	13,3	14,3	Kesäkuu	14,3
Heinäkuu	18,1	18,5	Heinäkuu	16,8
Elokuu	17,4	17,9	Elokuu	16
Syyskuu	13,1	14,1	Syyskuu	12,7
Lokakuu	6,8	8,7	Lokakuu	5,5
Marras- kuu	4,4	6,6	Marras- kuu	5,5
Joulukuu	1,9	4,4	Joulukuu	3,3

Taulukko 16. Talo 3, yläpohjan lämpöhäviö.

Yläpohjan vuosittainen lämpöhäviö Talo 3									
Vanha rakenne	U-arvo	0,23	Pinta-ala	138 m²	Uusi rakenne	U-arvo	0,08	Pinta-ala	138 m²
Sisälämpötila	21°C				Sisälämpötila	21°C			
	Tuuletustilan °C	kWh/kk				Tuuletustilan °C	kWh/kk		
Tammikuu	-0,8	514,6			Tammikuu	-3,9	204,6		
Helmikuu	2,7	390,5			Helmikuu	0,3	153,6		
Maaliskuu	4,2	396,5			Maaliskuu	2,1	155,3		
Huhtikuu	7,2	316,4			Huhtikuu	4,6	130,0		
Toukokuu	11,0	236,2			Toukokuu	12,0	73,8		
Kesäkuu	14,1	157,2			Kesäkuu	14,7	50,3		
Heinäkuu	18,4	61,2			Heinäkuu	17,0	32,6		
Elokuu	17,8	75,9			Elokuu	16,3	38,8		
Syyskuu	13,9	161,2			Syyskuu	13,2	62,4		
Lokakuu	8,3	299,5			Lokakuu	6,3	120,4		
Marraskuu	6,2	338,8			Marraskuu	6,3	116,5		
Joulukuu	3,9	402,9			Joulukuu	4,3	137,4		
Vuosittainen lämpöhäviö		3351 kWh/a	Vuosittainen lämpöhäviö		1276 kWh/a				
		402 €/a			153 €/a				
Laskennallinen säästö		2075 kWh/vuosi							
		249 €/vuosi							

Kaavan mukaan laskennallisesti lämpöhäviöiden olisi tullut pienentyä noin 2075 kWh/vuosi, jolloin kWh:n keskihinnan 0,12 € mukaisesti säästöä olisi kertynyt noin 249 €/vuosi (Taulukko 16).

## 7 LÄMPÖKUVAUS

Kohdetalojen yläpohjissa suoritettiin lämpökuvaus. Kuvaukset suoritettiin 10.10.2017 ja 15.10.2017 ulkolämpötilan ollessa 0–2 °C. Kohteita ei alipainestettu, joten kuvaukset suoritettiin normaaleissa käyttöolosuhteissa. Kuvausten tarkoituksena oli todeta puhallusvillan saumattomuuden hyödyt verrattuna vanhaan, mineraalivillalevyin tai -rullin toteutettuun eristykseen. Vertailukohtana toimi saman asuinalueen samantyylinen omakotitalo, Talo 4.

### 7.1 Yläpohjan lämpökuvat puhallusvillalla

Puhallusvillalla eristetyt yläpohjat ovat tasaisen eristeen peitossa. Kattotuolien tuet ja sauvat ovat tiiviisti eristettä vasten (Kuva 5).

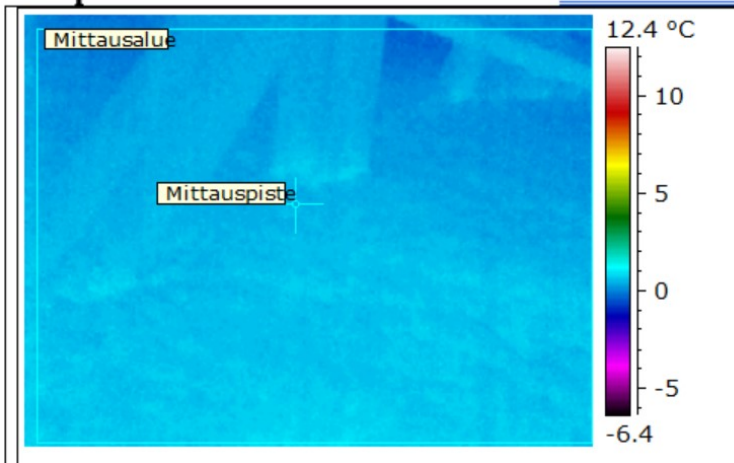


Kuva 5. Puhallusvillalla eristetty yläpohja (Kotonen 2017).

Seuraavissa lämpökameralla otetuissa kuvissa esitetään kameran mittamia lämpötiloja eristeiden ja kattotuolirakenteiden pinnoilta.



### Lämpökuva



Nro 15.

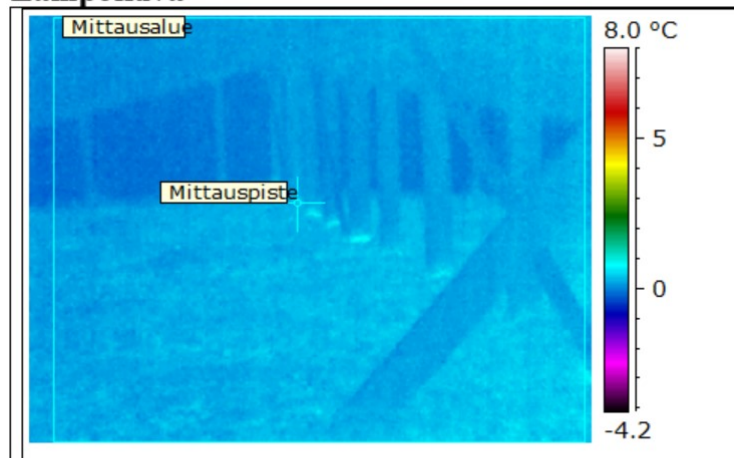
#### Mittausarvot ja niiden lämpötilaindeksi

Mittauspisteen lämpötila	0.5 °C
Mittausalue maks. lämpötila	1.1 °C
Mittausalue min. lämpötila	-0.5 °C

Kuva 6. Talo 1, lämpökuva yläpohjasta (Kotonen 2017).

Talo 1:n yläpohjassa lämpökuvattujen rakenteiden lämpötilaero vaihteli eristeen pinnan ja kattoristikkorakenteiden välillä noin 1,6–2,9 °C. Rakenteissa ei havaittu suuria lämpövuotoja yläpohjassa (Kuva 6).

### Lämpökuva



Nro 28.

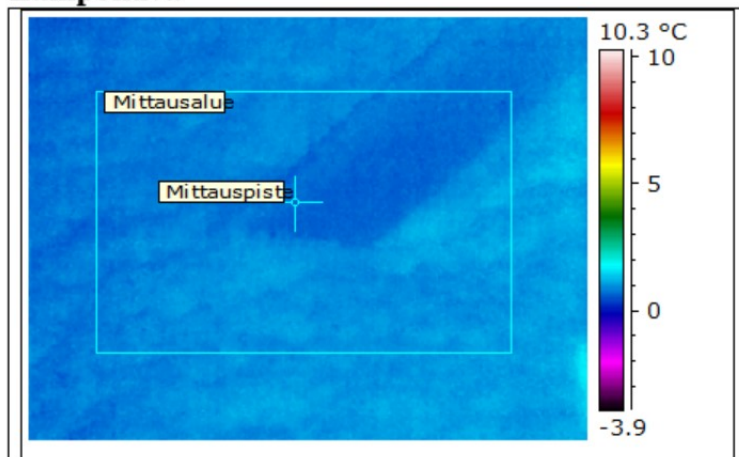
#### Mittausarvot ja niiden lämpötilaindeksi

Mittauspisteen lämpötila	0.4 °C
Mittausalue maks. lämpötila	0.9 °C
Mittausalue min. lämpötila	-0.4 °C

Kuva 7. Talo 2, lämpökuva yläpohjasta (Kotonen 2017).

Talo 2:n yläpohjassa lämpökuvattujen rakenteiden lämpötilaero vaihteli eristeen pinnan ja kattoristikkorakenteiden välillä noin 1,1–2 °C. Rakenteissa ei havaittu suuria lämpövuotoja yläpohjassa (Kuva 7).

### Lämpökuva



Nro 47.

### Mittausarvot ja niiden lämpötilaindeksi

Mittauspisteen lämpötila	0.7 °C
Mittausalue maks. lämpötila	1.4 °C
Mittausalue min. lämpötila	0.4 °C

Kuva 8. Talo 3, lämpökuva yläpohjasta (Kotonen 2017).

Talo 3:n yläpohjassa lämpökuvattujen rakenteiden lämpötilaero vaihteli eristeen pinnan ja kattoristikkorakenteiden välillä noin 1,0–1,4 °C. Rakenteissa ei havaittu suuria lämpövuotoja yläpohjassa (Kuva 8).

## 7.2 Yläpohjan lämpökuvat ilman puhallusvillaa

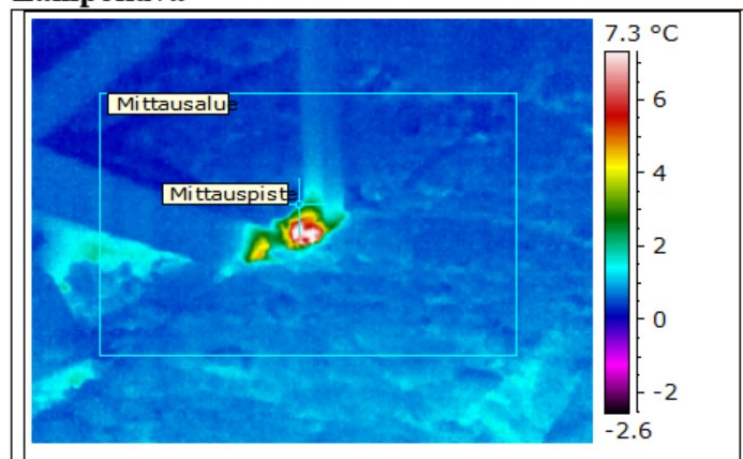
Talo 4 toimii vertailukohtana lämpökuvaukselle. Talon yläpohjassa on osittain alkuperäiset lasivillarullaeristeet, ja lasivillalevyjä on lisätty paikoittelun (Kuva 9).



Kuva 9. Talo 4, yläpohjan eristeitä (Kotonen 2017).

Seuraavissa kuvissa on lämpökameralla kuvattuna kattotuolien tukien ja sauvojen liittymä eristeeseen sekä pintalämpötilojen perusteella havaittavia lämpövuotoja eristeiden raoista (Kuva 12 ja Kuva 13).

### Lämpökuva



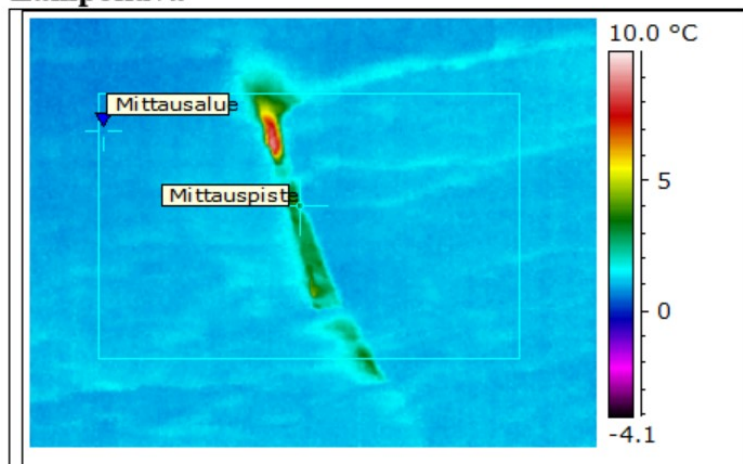
Nro 12.

#### Mittausarvot ja niiden lämpötilaindeksi

Mittauspisteen lämpötila	1.8 °C
Mittausalue maks. lämpötila	9.4 °C
Mittausalue min. lämpötila	-0.0 °C

Kuva 10. Talo 4, lämpökuva yläpohjasta 1/2 (Kotonen 2017).

### Lämpökuva



Nro 3.

#### Mittausarvot ja niiden lämpötilaindeksi

Mittauspisteen lämpötila	2.5 °C
Mittausalue maks. lämpötila	8.9 °C
Mittausalue min. lämpötila	0.6 °C

Kuva 11. Talo 4, lämpökuva yläpohjasta 2/2 (Kotonen 2017).

Yläpohjassa lämpökuvattujen rakenteiden lämpötilaero vaihteli eristeen pinnan ja kattoristikkorakenteiden välillä jopa 9,4 °C. Huolimattomasti asennettujen eristeiden saumoissa oli myös huomattavia lämpövuotoja, lämpötilaerot jopa 8,3 C.

#### 7.2.1 Yhteenveto

Lämpökuvissa havaittiin selvästi eroja puhallusvillalla lisälämmöneristetyyn rakenteen ja vanhalla levy-/rullavillalla eristetyyn rakenteen välillä. Voidaan olettaa, että yläpohjan lämpöhäviön osasyynä ovat olleet eristeiden väliset lämpövuodot, rakenteiden muodostamat kylmäsillat sekä rakenteen ilma-vuodot. Huolimattomasti tehdyn eristyksen raoista ja saumoista pääsi joutumaan lämpöä huomattavasti (Kuva 10 ja Kuva 11). Puhallusvilla täytti rakojen ja muodosti tasaisen ja saumattoman eristekentän, jolloin alemmassa eristekerroksessa olleet saumat olivat peitossa. Eristeiden rakojen ja saumojen kautta siirtyvän lämpöenergian määrä oletettavasti pieneni sekä kattotuolirakenteiden aiheuttamien kylmäsiltojen osuus oletettavasti väheni.

## 8 KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA

Rakenteiden kosteusteknistä toimintaa tutkittiin laskemalla tasapainotilan suhteellisen kosteuden jakauma diffuusiotaulukon avulla. Kohdetalojen uusien yläpohjarakenteiden arvojen mukaisesti laskettiin lämpö- ja kosteustaseet (Liite 13). Tuuletustilan lämpö- ja kosteustaseiden laskennallisia arvoja käytettiin diffuusiotaulukon reunaolosuhteina.

Taulukossa 17 esitetään diffuusiotaulukko Talo 1:n osalta, Talot 2 ja 3 esitetään liitteessä (Liite 14). Diffuusiotaulukossa esitetään suhteellinen kosteus prosentteina, RH%. Rakenteissa RH%:n noustessa lähelle 100%, on rakenteessa kosteusvauriovaara sekä rakenteiden homehtumisriski huomattava.

Laskennan ajankohdaksi määritettiin lokakuu 2017, jolloin myös lämpökuvaukset suoritettiin. Lämpötila oli 2 °C ja ilman suhteellinen kosteus 90 %. Laskennassa seurataan ilman lämpötilan mukaisen kriittisen vesihöyrypitoisuuden ja vallitsevan vesihöyrypitoisuuden suhdetta eli ilman suhteellista kosteutta, RH%. Laskennan lähtöarvoina käytettiin rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuksia,  $\lambda_d$  sekä kosteudenläpäisyvastusta,  $z_p$ . Laskennassa on mukana RIL 107-2012 luvun 2.1 mukainen sisäilman kosteuslisä. (RIL 107-2012, 24.)

Rakenteen kosteusolosuhteiden ja kosteuden siirtymisen laskennallinen määrittäminen on tarpeellista, kun suunnitellaan vanhan rakenteen korjaamista (RIL 107-2012, 19).

## 8.1 Diffuusiotaulukko

Taulukko 17. Talo 1, diffuusiotaulukko.

Rakenteen sisäiset lämpötilat ja diffuusio				Talo 1				
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R	Tsisä	Pk	$Z_p \cdot 10^9$	P	RH%
Sisäpinta			0,10	21	2485,6		1394,0	56,1
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062			0,5		
				20,7	2440,4		1 393,3	57,1
Harvalauta	0,022	0,144	0,153			1,1		
				20,5	2410,7		1 391,7	57,7
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004			500,0		
				20,4	2396		674,3	28,1
Min.villa	0,25	0,05	5			1,3		
				11,7	1381,2		672,5	48,7
Selluvilla	0,2	0,04	5			1,0		
				3,0	762		671,1	88,1
ulkopinta			0,04					
	Tuuletustilan lämpötila			2,9	756,6	503,9	671,1	88,7
	ja RH %			Tulko	Pk		P	RH%

Diffuusiotaulukon (Taulukko 17) laskelmien mukaan rakenteessa ei muodostu kosteusteknisiä ongelmia RH%:n pysyessä alle 90%:n kaikissa rakenteen kerroksissa. Kosteusvaurio- ja homehtumisriskiä ei todennäköisesti ole.

### 8.1.1 Yhteenveto

Rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ei laskelmien mukaan synny kosteusteknisiä ongelmia. Rakenteen toimivuuden kannalta on huomioitava kuitenkin se, että höyrynsulun tulee olla tiivis, jotta rakenteeseen ei pääse liiallista kosteutta sisätiloista, mikä voisi aiheuttaa kosteusteknisiä ongelmia. Lisäksi tulee varmistua tuuletustilan tuuletuksen toiminnasta, jottei tuuletustilan kosteus nouse kriittiselle tasolle.

## 9 VANHAN JA UUDEN RAKENTEEN SÄHKÖNKULUTUKSEN VERTAILU

Kohteiden sähkönkulutusta tarkasteltiin sähkönsiirtoyhtiön energiaseurantapalvelusta (Caruna n.d.), johon on tallentunut jokaisen kohteen todelliset sähkönkulutuslukemat. Vertailu toteutettiin laskemalla keskiarvot kuukausittaiselle sähkönkulutukselle ennen ja jälkeen lisälämmöneristysten. Kohdetaloissa ovat asuneet samat asukkaat koko vertailun ajan, joten toteutuneiden sähkönkulutusten muutosten oletetaan johtuvan yläpohjan lisälämmöneristyksestä. Oletettavissa oli, että sähkönkulutuksessa saattaa esiintyä mittarivirhettä, mutta vähintäänkin prosentuaalinen muutos lukemissa pitäne paikkaansa.

Talo 2:n kohdalla ikkunoiden vaihdon myötä laskettiin prosentuaalinen osuus yläpohjan lämmöneristykselle, jonka perustana on *laskennallinen lämpöhäviö* (Taulukko 13; Taulukko 14).

Sähkönkulutuksen muutos on esitetty kWh:na ja euroina, ja sitä on vertailtu lämpöhäviölaskennan tuloksiin.

Laskennassa esitetään myös todellisen sähkönkulutuksen mukainen yläpohjan lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika.

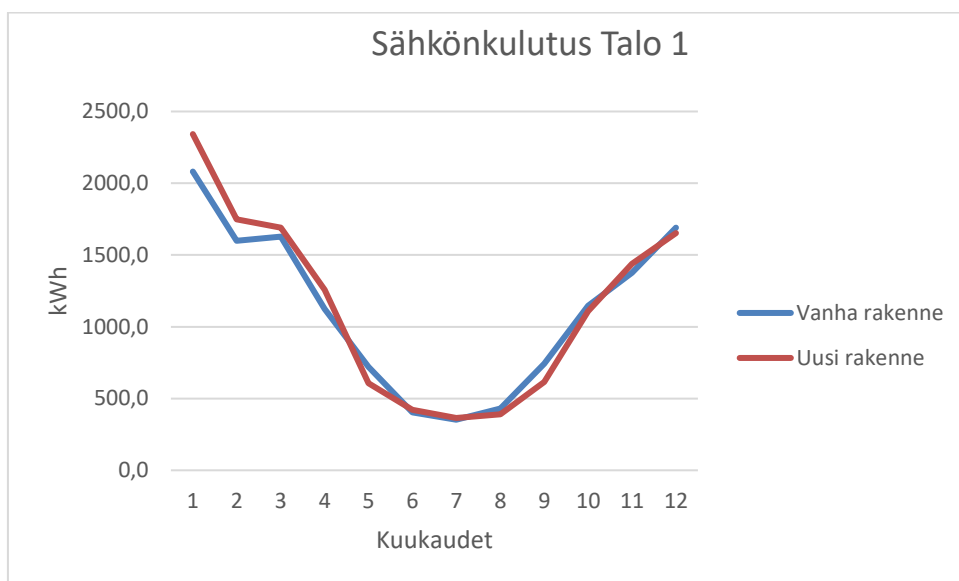
Tulosten seurantaan käytettiin Ilmatieteen laitoksen ilmoittamia Helsingin kuukausittaisia keskilämpötiloja (Ilmatieteen laitos n.d.).



## 9.1 Toteutuneet kulutuslukemat, Talo 1

Sähkönkulutuslukemat ennen lisälämmöneristystä ovat ajalta 1/2013–5/2015. Seuranta-aika on 29 kuukautta. Lukemat saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta, ja niitä on täydennetty asukkaan oman seurannan perusteella. Sähkönkulutus vuoden keskiarvolla oli 13 296 kWh ja vuoden keskilämpötila oli 7 °C (Liite 13).

Sähkönkulutuslukemat lisälämmöneristyksen jälkeen ovat ajalta 6/2015–9/2017. Seuranta-aika on 28 kuukautta. Lukemat saatiin sähköyhtiön sähkönkulutuksen seurantapalvelusta. Sähkönkulutus vuoden keskiarvolla oli 13 639 kWh ja vuoden keskilämpötila oli 6,8 °C (Liite 14).



Kaavio 1. Talo 1, sähkönkulutus.

Kaaviossa 1 esitetään vanhan ja uuden rakenteen aikaiset sähkönkulutuksen kuukausittaiset keskiarvot. Huomattavimmat erot näkyvät kuukausina 1 ja 2, jolloin sää oli lämpimämpi vanhan rakenteen aikana.

Uuden rakenteen aikana 1/2016 oli koko seurantajakson kylmin keskilämpötilan ollessa -8,8 °C. Kulutuslukema oli noin 700 kWh korkeampi kuin yksikään muista mitatuista tuloksista, mikä tuottaa virheen säästöjen laskeamisessa.



### 9.1.1 Todellisen ja laskennallisen säästön erot, Talo 1

Todellinen sähkönkulutus saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta, jota verrattiin aiemmin esitettyihin laskennallisiin säästöihin yläpohjan lisälämmöneristyksessä.

Taulukko 18. Talo 1, erotus.

<b>Talo 1</b>	
<b>Todellinen säästö</b>	<b>-342 kWh/vuosi</b> <b>-41 €/vuosi</b>
<b>Laskennallinen säästö</b>	<b>1759 kWh/vuosi</b> <b>211 €/vuosi</b>
<b>Erotus</b>	<b>2101 kWh/vuosi</b> <b>252 €/vuosi</b>

Ero laskennallisen energiankulutuksen ja todellisen sähkönkulutuksen välillä on  $1759 \text{ kWh} - (-342) \text{ kWh} = 2101 \text{ kWh}$  ja  $211 \text{ €} - (-41) \text{ €} = 252 \text{ €}$  (Taulukko 18).

Tulosten välillä oli huima ero. Laskennallinen säästö oli huomattava vuositasolla, mutta todellisen säästön tulos oli pettymys.

## 9.1.2 Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika, Talo 1

Taulukko 19. Talo 1, takaisinmaksuaika.

Sähkön hinta kulutuksen ja oletetun 0,12 €/kWh hinnan mukaan	
Lisälämmöneristysten hinta	2294 €
Sähkön hinta	0,12 €/kWh
Kulutuksen keskiarvo vanha rakenne	13296 kWh 1595 €
Kulutuksen keskiarvo uusi rakenne	13638 kWh 1636 €
Keskimääräinen säästö	-342 kWh/vuosi -41,1176 €/vuosi
Takaisinmaksuaika	***

Talo 1:n kohdalla sähkönkulutuksen keskiarvoilla ei säästöjä ole syntynyt. Sähkönkulutus nousi 2,6 %.

*Ekovillan Lisäeristyslaskuri* antoi säästöksi 295,5 € vuodessa (Ekovilla n.d.). Laskurin, laskennallisen säästön ja todellisen säästön välillä oli huomattavia eroja (Taulukko 19).

## 9.1.3 Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaan, Talo 1

Taulukko 20. Kulutus keskilämpötilojen mukaan, Talo 1

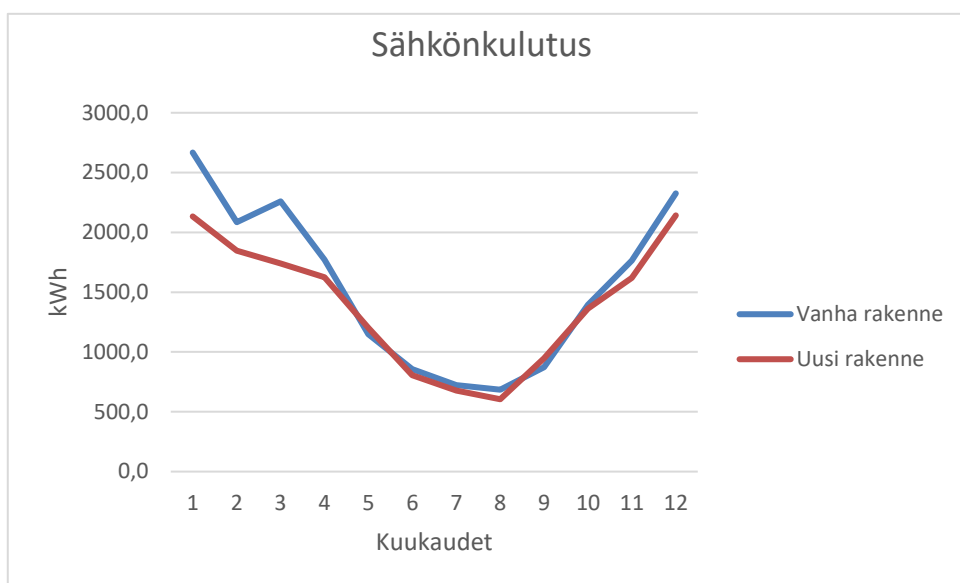
Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaisesti Talo 1			
Ka. °C	Vanha rakenne	Uusi rakenne	Erotus
-2	1860	1692	168
0	1654	1770	-115
1	1612	1783	-171
2	1394	1598	-204
3	1410	1080	330
5	1213	933	280
6	878	1157	-279
9	846	828	19
12	653	777	-124
13	644	459	185
17	392	359	33
18	431	252	178
Säästö kWh:na			299

Taulukossa 20 on esitetty sähkönkulutus ja kuukausittaiset lämpötilat keskiarvoina, joiden perusteella saatiin arvioitu säästö tietyille lämpöasteelle. Taulukossa on mukana vain ne lämpötilat, joita pystyttiin vertaamaan. Huomattavaa on se, että useamman lämpöasteen kohdalla säästöä ei ole kertynyt. Näillä lämpötiloilla säästöä kertyy 299 kWh:a.

## 9.2 Toteutuneet kulutuslukemat, Talo 2

Sähkönkulutuslukemat ennen lisälämmöneristystä ovat ajalta 1/2014–8/2016. Seuranta-aika oli 32 kuukautta. Lukemat saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta. Sähkönkulutus vuoden keskiarvolla oli 18 553 kWh ja vuoden keskilämpötila oli 7,3 °C (Liite 15).

Sähkönkulutuslukemat lisälämmöneristyksen jälkeen ovat ajalta 9/2016–9/2017. Seuranta-aika oli 13 kuukautta. Lukemat saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta. Sähkönkulutus vuoden keskiarvolla oli 16 916 kWh ja vuoden keskilämpötila oli 6,1 °C (Liite 16).



Kaavio 2. Talo 2, sähkönkulutus.

Kaaviossa 2 esitetään vanhan ja uuden rakenteen aikaiset sähkönkulutuksen kuukausittaiset keskiarvot. Huomattavimmat erot näkyvät kuukausina 1–3.

### 9.2.1 Todellisen ja laskennallisen säästön erot, Talo 2

Todellinen sähkönkulutus saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta, jota verrattiin aiemmin esitettyihin laskennallisiin säästöihin yläpohjan lisälämmöneristyksessä. Laskennassa on mukana myös ikkunoiden tuoma laskennallinen säästö. Yläpohjan osuudeksi laskettiin lämpöhäviölaskelman tulosten suhteen 33,3 %:n osuus.

Taulukko 21. Talo 2, erotus.

<b>Talo 2</b>	
<b>Todellinen säästö</b>	<b>1637 kWh/vuosi 196 €/vuosi</b>
<b>Laskennallinen säästö</b>	<b>2924 kWh/vuosi 351 €/vuosi</b>
<b>Laskennallinen säästö ikkunoista</b>	<b>1949 kWh/vuosi 234 €/vuosi</b>
<b>Laskennallinen säästö yläpohjasta</b>	<b>974 kWh/vuosi 117 €/vuosi</b>
<b>Erotus</b>	<b>1287 kWh/vuosi 351 €/vuosi</b>

Ero laskennallisen energiankulutuksen ja todellisen sähkönkulutuksen välillä on  $974 \text{ kWh} - 545 \text{ kWh} = 334 \text{ kWh}$  ja  $117 \text{ €} - 65 \text{ €} = 52 \text{ €}$ . Prosentuaalisesti toteutuneiden säästöjen osuus laskennallisista säästöistä on noin 55 % (Taulukko 21).

## 9.2.2 Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika, Talo 2

Taulukko 22. Talo 2, takaisinmaksuaika.

Sähkön hinta kulutuksen ja oletetun 0,12 €/kWh hinnan mukaan	
Lisälämmöneristysten hinta	1350 €
Sähkön hinta	0,12 €/kWh
Kulutuksen keskiarvo vanha rakenne	18553 kWh 2226 €
Kulutuksen keskiarvo uusi rakenne	16916 kWh 2030 €
Keskimääräinen säästö	1637 kWh/vuosi 196 €/vuosi
Yläpohjan osuus	33,3 % 545 kWh/vuosi 65 €/vuosi
Takaisinmaksuaika	20,6 vuotta

Talo 2:n kohdalla huomattavaa säästöä syntyi yläpohjan lisälämmöneristeen asennuksen ja ikkunoiden vaihdon vaikutuksesta. Laskennallisen säästön perusteella lisälämmöneristeen ja ikkunoiden säästön jakauma oli 33,3 % lisälämmöneristeen osalta. Säästöä kertyi 545 kWh/vuosi ja 65 €/vuosi. Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika on 20,6 vuotta (Taulukko 22).

Sähkönkulutus laski yläpohjan lisälämmöneristysten kohdalla arviolta 2,9 %.

*Ekovillan Lisäeristyslaskuri* antoi säästöksi 173 € vuodessa (Ekovilla n.d.). Laskurin, laskennallisen säästön ja todellisen säästön välillä oli huomattavia eroja.

## 9.2.3 Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaan, Talo 2

Taulukko 23. Talo 2, säästöt asteittain.

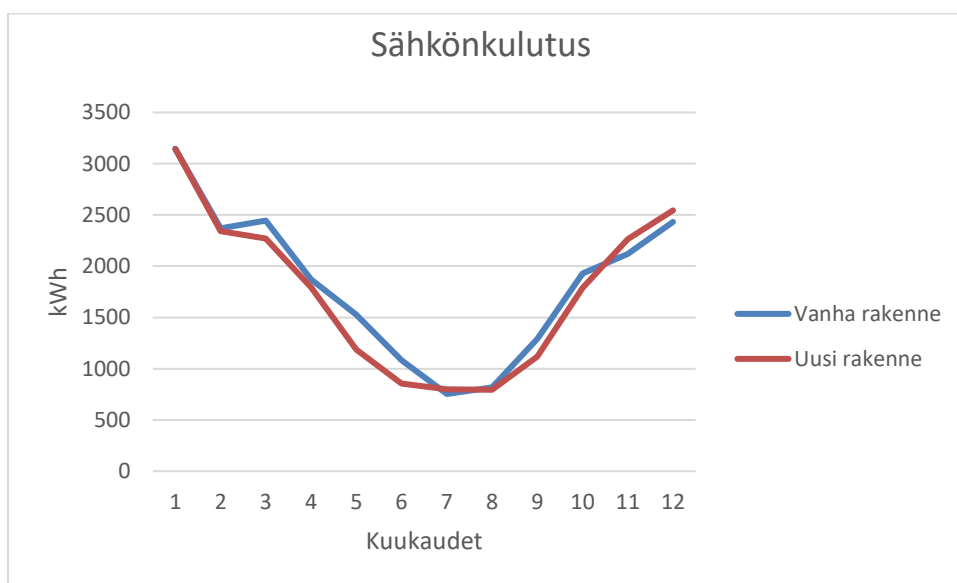
Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaisesti Talo 2			
Ka. °C	Vanha rakenne	Uusi rakenne	Erotus
0	2311	1880	431
1	2167	1741	426
3	1901	1626	275
6	1687	1362	325
9	1199	1202	-2
13	861	972	-111
14	1073	806	267
16	833	641	192
Säästö kWh:na			1804

Taulukossa 23 on esitetty sähkönkulutus ja kuukausittaiset lämpötilat keskiarvoina, joiden perusteella saatiin arvioitu säästö tietyille lämpöasteelle. Taulukossa ovat mukana vain ne lämpötilat, joita pystyttiin vertaamaan. Huomattavaa on se, että näillä lämpötiloilla säästöä kertyy jopa 1804 kWh:a.

### 9.3 Toteutuneet kulutuslukemat, Talo 3

Sähkönkulutuslukemat ennen lisälämmöneristystä ovat ajalta 1/2014–12/2015. Seuranta-aika oli 24 kuukautta. Lukemat saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta. Sähkönkulutus vuoden keskiarvolla oli 21814 kWh ja vuoden keskilämpötila oli 7,4 °C (Liite 17).

Sähkönkulutuslukemat lisälämmöneristyksen jälkeen ovat ajalta 1/2016–9/2017. Seuranta-aika oli 19 kuukautta. Lukemat saatiin sähköyhtiön sähkönkulutuksen seurantapalvelusta. Sähkönkulutus vuoden keskiarvolla oli 20894 kWh ja vuoden keskilämpötila oli 7 °C (Liite 18).



Kaavio 3. Talo 3, sähkönkulutus.

Kaaviossa 3 esitetään vanhan ja uuden rakenteen aikaiset sähkönkulutuksen kuukausittaiset keskiarvot. Huomattavimmat erot näkyvät kuukausina 3 ja 5–6.



### 9.3.1 Todellisen ja laskennallisen säästön erot, Talo 3

Todellinen sähkönkulutus saatiin sähköyhtiön energiaseurantapalvelusta, jota verrattiin aiemmin esitettyihin laskennallisiin säästöihin yläpohjan lisälämmöneristyksessä.

Taulukko 24. Laskennallinen vs. todellinen, Talo 3.

Talo 3	
<b>Todellinen säästö</b>	<b>920 kWh/vuosi</b>
	<b>110 €/vuosi</b>
<b>Laskennallinen säästö</b>	<b>2075 kWh/vuosi</b>
	<b>249 €/vuosi</b>
<b>Todellinen vs.</b>	<b>1155 kWh/vuosi</b>
<b>Laskennallinen</b>	<b>139 €/vuosi</b>

Ero laskennallisen energiankulutuksen ja todellisen sähkönkulutuksen välillä oli  $1769 \text{ kWh} - 886 \text{ kWh} = 883 \text{ kWh}$  ja  $249 \text{ €} - 110 \text{ €} = 139 \text{ €}$ . Prosentuaalisesti toteutuneiden säästöjen osuus laskennallisista säästöistä on noin 44 % (Taulukko 24).

*Ekovillan Lisäeristyslaskuri* antoi säästöksi 318 € vuodessa (Ekovilla n.d.). Laskurin, laskennallisen säästön ja todellisen säästön välillä oli huomattavia eroja.

## 9.3.2 Lisälämmöneristysten takaisinmaksuaika, Talo 3

Taulukko 25. Talo 3, takaisinmaksuaika.

Sähkön hinta kulutuksen ja oletetun 0,12 €/kWh hinnan mukaan	
Lisälämmöneristysten hinta	1600 €
Sähkön hinta	0,12 €/kWh
Kulutuksen keskiarvo vanha rakenne	21814 kWh 2618 €
Kulutuksen keskiarvo uusi rakenne	20894 kWh 2507 €
Keskimääräinen säästö	920 kWh/vuosi 110 €/vuosi
Takaisinmaksuaika	14,5 vuotta

Taulukossa 25 on laskettuna lisälämmöneristetyn yläpohjan tuottamat todelliset säästöt sekä arvioitu takaisinmaksuaika toteutuneen sähkönkulutuksen mukaisesti. Säästöä kertyi 920 kWh ja 110 €, takaisinmaksuaika noin 14,5 vuotta.

Sähkönkulutus laski arviolta 4,2 %.

*Ekovillan Lisäeristyslaskuri* antoi säästöksi 318 € vuodessa (Ekovilla n.d.). Laskurin, laskennallisen säästön ja todellisen säästön välillä oli huomattavia eroja.

## 9.3.3 Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaan, Talo 3

Taulukko 26. Säästöt asteittain, Talo 3.

Kulutuslukemat keskilämpötilojen mukaisesti Talo 3			
Ka. °C	Vanha rakenne	Uusi rakenne	Erotus
0	2562	2191	371
1	2335	2270	65
3	2239	2232	8
5	1982,5	1662	321
6	1914	2027	-113
9	1578	1332	246
12	1355	1182	173
13	1186	1054	132
14	1292	997	296
16	858	847	11
18	798	644	154
Säästö kWh:na			1662

Taulukossa 26 on esitetty sähkönkulutus ja kuukausittaiset lämpötilat keskiarvoina, joiden perusteella saatiin arvioitu säästö tietyille lämpöasteelle. Taulukossa ovat mukana vain ne lämpötilat, joita pystyttiin vertaamaan. Huomattavaa on se, että näillä lämpötiloilla säästöä kertyi jopa 1662 kWh:a.

## 9.4 Yhteenveto

Taulukko 27. Toteutuneet säästöt.

Yhteenveto toteutuneista säästöistä		mm	m <sup>2</sup>	kWh/vuosi	€/vuosi
Talo 1	Selluvilla	200	189	-342	-41
Talo 2	Selluvilla	150	117	485	58
Talo 3	Selluvilla	300	138	920	110

Lisälämmöneristysten toteutuneet säästöt olivat (Taulukko 27)

- -343 - 920 kWh/vuosi
- -41 - 110 €/vuosi.

Talo 1:n kohdalla negatiivinen säästö oletettavasti selittyy 1/2016 olleesta koko mittausjakson kylmimmästä aikajaksosta (Liite 11) sekä asukkaan epäsäännöllisestä asumisesta kotonaan (Liite 1).

Talo 2:n kohdalla yläpohjan lisälämmöneristysten vaikutus kokonaissäästöön voi olla suurempi kuin laskennallinen 33,3 %:n osuus (Taulukko 26).

Huomattavaa laskelmissa oli myös se, että jokaisen kohdetalon kohdalla vanhan ja uuden yläpohjarakenteen seuranta-aikojen aikana vuoden keskilämpötila laski seuraavasti:

- Talo 1: 7,0°C -> 6,8°C
- Talo 2: 7,3°C -> 6,1°C
- Talo 3: 7,4°C -> 7,0°C.

Voidaan siis olettaa, että todellisen sähkönkulutuksen säästö voisi kasvaa, jos lämpötilat pysyisivät samoissa lukemissa.

Eroa syntyi huomattavasti rakennusosakohtaiseen lämpöhäviöön verrattuna, ja puhallusvillavalmistajan säästölaskuriin verrattuna ero oli jo erittäin merkittävä.

Toteutuneissa kulutuksissa lämpötiloittain (Taulukot 20; 23; 26) pystyttiin toteamaan syntyneitä säästöjä. Valitettavaa oli se, ettei vertailuun saatu kuin yksi pakkaslukema. Suurempi määrä pakkaslukemia kertoisi vielä enemmän lisälämmöneristysten toimivuudesta.

## 10 LISÄLÄMMÖNERISTYKSEN TOTEUTUS

Kohdetaloille tehtyt yläpohjan lisälämmöneristykset olivat toteuttaneet urakoitsijat, joten seuraavissa kappaleissa selvitetään asukkaiden mielipiteitä lisälämmöneristyksen toteutuksista lyhyen kyselyn perusteella ja tutkitaan 1. otsikon alla esitettyjen määräysten ja ohjeiden toteutumista kyseisissä lisälämmöneristyksissä.

### 10.1 Asukkaiden tyytyväisyys

Kohdetalojen asukkaita varten tehtiin kyselylomake, jossa selvitettiin talon rakenteita, lämmitysmuotoja ja tyytyväisyyttä lisälämmöneristyksen toteutuksesta (Liitteet 1–3).

Tyytyväisyyskysely sisälsi kuusi kysymystä, joita arvioitiin asteikolla 1–5. Lopuksi pisteet summattiin ja kyselyn arviointi suoritettiin asteikolla

- |             |                 |
|-------------|-----------------|
| – huono     | 6–14 pistettä   |
| – neutraali | 15–21 pistettä  |
| – hyvä      | 22–30 pistettä. |

### Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tyytyväisyyskysely

Päivämäärä: \_\_\_\_\_

Osoite: \_\_\_\_\_ Aukkaat: \_\_\_\_\_

Aukkaiden tyytyväisyys yläpohjan lisäeristyksestä

Asteikolla	1	2	3	4	5
	Ei		Neutraali		Kyllä

1. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä asukkaalle helppo ratkaisu?

1      2      3      4      5

2. Saitteko urakoitsijalta selkeän kuvauksen lisäeristyksestä?

1      2      3      4      5

3. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä mielestänne kohtuuhintainen?

1      2      3      4      5

4. Paransiko lisäeristys asumismukavuutta?

1      2      3      4      5

5. Laskiko lisäeristys lämmityskustannuksia?

1      2      3      4      5

6. Suosittelettko yläpohjan lisäeristystä muille?

1      2      3      4      5

Pisteet yhteensä: \_\_\_\_\_

Huono	Neutraali	Hyvä
6-14 pistettä	15-21 pistettä	22-30 pistettä

Kuva 12. Aukaskysely (Kotonen 2017).

Kyselyssä kysyttiin seuraavat kysymykset ja esitetään vastausten keskiarvot:

1. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä asukkaalle helppo ratkaisu?  
4,33 pistettä
2. Saitteko urakoitsijalta selkeän kuvauksen lisäeristyksestä?  
3,66 pistettä
3. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä mielestänne kohtuuhintainen?  
4,33 pistettä
4. Paransiko lisäeristys asumismukavuutta?  
4,33 pistettä
5. Laskiko lisäeristys lämmityskustannuksia?  
4 pistettä
6. Suosittelettko yläpohjan lisäeristystä muille?  
4,66 pistettä

Kyselyn vastausten summien keskiarvo oli 25,33 pistettä, joten kyselyn tulos oli ”Hyvä”. Kyselyn perusteella asukkaat ovat olleet tyytyväisiä yläpohjan lisälämmöneristyksen toteutukseen urakoitsijan tekemänä, ja he ovat valmiita suosittelemaan kyseistä toimenpidettä.

#### 10.1.1 Asukkaiden kommentteja

Kyselyssä kysyttiin asukkailta alla olevat kysymykset. Kysymysten jälkeen esitetään niihin asukkailta saatuja kommentteja.

Liittyikö yläpohjan lisäeristyksen toteutukseen ongelmia?

- ”Toteutus hoidettiin ammattitaidolla” (Talo 1, asukas 2017).

Muuta yläpohjan lisäeristykseen liittyvää?

- ”Energiakustannuksia on vaikea täsmällisesti arvioida, kun talossa asuu yksi henkilö, joka on paljon poissa kotoa. On selvää, että lisäeristys alentaa energiakustannuksia. Kun talosta tuli tiiviimpi, se vaikutti korvausilman saamiseen. Muutamista ikkunoista vähennettiin tiivisteitä, jotta saataisiin paremmin raitista ilmaa” (Talo 1, asukas 2017).
- ”Tuulensuojalevyt olivat valmiina, mutta kovalla tuulella villaa pölyää tuuletusraoista. Tuulenohjainlevyjä/pahveja ei tarjottu lisäeristyksen yhteydessä” (Talo 3, asukas 2017).

Varsinkin Talo 1:n asukkaan jälkimmäisen kommentin perusteella voidaan todeta, että Talo 1:n kohdalla 2,6 %:n sähkönkulutuksen kasvaminen yläpohjan lisälämmöneristyksen kohdalla voi oletettavasti johtua asukkaan epäsäännöllisestä asumisesta kotonaan. Muihin kommentteihin pureudutaan seuraavassa kappaleessa.

#### 10.2 Urakoitsijoiden toteutukset ja määräysten mukaisuus

Urakoitsijat toteuttivat yläpohjien lisälämmöneristykset. Ilmeisesti urakoitsijoiden tavoitteena on vain asentaa puhallusvillat yläpohjaan, sillä 1. otsikon alla lueteltujen määräysten ja ohjeiden perusteella tarvittavia toimenpiteitä ei tehty tai tarjottu tehtäväksi lisälämmöneristyksen yhteydessä.



Kuva 13. Talo 2, tuuletustila (Kotonen 2017).

Oheisessa kuvassa (Kuva 15) oikealla seinärakenteen tuuletuksesta ei ole huolehdittu, puhallusvilla estää rakenteen tuuletuksen. Kuvassa vasemmalla ei näy tuulensuojalevyä, joka ohjaisi seinärakenteen tuuletusta; myös tuulenohjaimet puuttuvat räystäiltä.



Kuva 14. Talo 2, tuuletustilan piippu (Kotonen 2017).



Oheisessa kuvassa (Kuva 16) oikealla on ympyröity viemärintuuletusputki, jota ei ole eristetty. Vasemmalla on ympyröity piippu, jonka ympäristöä ei ole eristetty A1-luokan eristeellä. Myös kuvassa kohoumana näkyvä ilmanvaihtokanava on erikseen eristämättä. Kahden talon kohdalla yläpohjasta puuttuivat kulkusillat kokonaan, jolloin mahdolliset yläpohjan tai talotekniikan huoltotyöt hankaloituvat huomattavasti.

Rakennus on omistajiensa vastuulla, mutta toivoisin urakoitsijoilta viitteellisyyttä ja vastuuntuntoa siitä, että tämän luokan saneerauksissa otettaisiin määräykset ja ohjeet tarkemmin huomioon ja tarjottaisiin kokonaisvaltaista urakkaa, jossa hoidetaan kaikki osa-alueet kerralla kuntoon.

#### 10.2.1 Toteutukseen liittyvät mahdolliset ongelmat

Seuraavassa esitellään potentiaalisia yläpohjan lisälämmöneristykseen liittyviä ongelmia, jotka tulisi ottaa huomiin ennen toteutusta:

- Seinärakenteiden tuuletuksen tukkiminen saattaa aiheuttaa rakenteelle ylimääräistä kosteuskuormitusta.
- Tuulenhjainten puuttuminen päästää tuulen suoraan eristeen pinnalle ja saattaa siirtää puhallusvillaa.
- Kulkusillan puuttuminen vaikeuttaa yläpohjan huoltotöitä.
- Savupiipun A1-luokan lämmöneristeen puuttuminen saattaa aiheuttaa kohteiden selluvillan hiiltymistä.
- Viemärintuuletusputken ollessa eristämättä se saattaa kondensoida vettä eristeisiin.
- Ilmanvaihtokanavien ollessa eristämättä ne saattavat kondensoida vettä eristeisiin.
- Puhallusvillan tiivistäessä aiempaa eristekerrosta ilmavuodot yläpohjan kautta saattavat pienentyä, joten ilmanvaihdon korvausilman saantia on parannettava ja/tai ilmanvaihto on säädettävä uudelleen. Myös pistemäiset ilmavuodot yläpohjan rakenteista saattavat lisääntyä.
- Höyryn/ilmansulun ollessa puutteellinen tai rikki, saattaa vuotokohdan läheisyydessä syntyä sisäpuolisen kosteusrasituksen vuoksi kosteusongelmia.

Asukkaiden kyselylomakkeissa nousi esiin kaksi lisälämmöneristykseen liittyvää ongelmaa:

*Kun talosta tuli tiiviimpi, se vaikutti korvausilman saamiseen. Muutamista ikkunoista vähennettiin tiivisteitä, jotta saataisiin paremmin raitista ilmaa.*  
–Talo 1, asukas 2017

Tämä mielestäni korostaa eristekerroksen tiivistymistä ja sitä, että höyryn/ilmasulun tulee olla kunnossa ja tiivis. Näin ollen välttyttäisiin esimerkiksi pistemäisiltä ilmavuodoilta, joihin saattaa kehittyä kosteusvaurioriski.

*Kovalla tuulella villaa pöllyää tuuletusraoista. Tuulenhajainlevyjä/pahveja ei tarjottu lisäeristyksen yhteydessä. –Talo 3, asukas 2017*

Tuulenhajaimet alaräystäillä estäisivät tuulen pääsemisen suoraan puhallusvillan pintaan ja ohjaisivat tuuletusilman oikeaoppisesti tuuletustilaan.

## 11 TUTKIMUKSEN YHTEENVETO

Yläpohjan lisälämmöneristäminen on rakenteellisista energiansäästöremonteista helpoin ja oletettavasti edullisin. Työn määrä on vähäinen ja suhteessa edullinen. Seuraavaksi esitetään huomioita rakenteellisista seikoista, ympäristöministeriön asetuksen 4/13 mukaisuudesta, lämpökuvauksesta, kosteusteknisestä toiminnasta ja yläpohjan lisälämmöneristystyksen vaikutuksesta energian- ja sähkönkulutukseen sekä asukkaiden mielteisiin.

### 11.1 Rakenteelliset huomiot

Rakennuksen omistajan tulisi pitää huoli siitä, että yläpohjassa kaikki olisi rakenteellisesti kunnossa ja valmiina puhallusvillaa varten tai sitten velvoittaa urakoitsijan tekemään valmistelut puolestaan. Seinärakenteiden tuuletuksen toimimattomuus ja tuulenohjainten puuttuminen voivat tuoda rakenteellisia ongelmia. Talotekniikan eristeiden puuttuminen saattaa aiheuttaa kondensoitumista eristeiden sekaan, ja savupiipun ympäriltä puuttuvat A1-luokan lämmöneristeet saattavat aiheuttaa palovaaran seluvillan kanssa. Kulkusillan puuttuminen hankaloittaa yläpohjan ja talotekniikan huoltotöitä huomattavasti.

### 11.2 YM 4/2013 -asetuksenmukaisuus

Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 mukaisiin määräyksiin yläpohjan lisälämmöneristys toimii pääsääntöisesti osakokonaisuutena.

4 §, *Rakennusosakohtaiset vaatimukset* -kohdalla on yläpohjan U-arvo helppo saada puolittumaan, kun lasketaan tarvittava eristekerroksen paksuus RakMk C4:n mukaisesti. Kohdetaloista yksi ylsi asetuksen mukaiseen määräykseen U-arvon puolituksesta.

6 §, *Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain* -kohdassa vaaditaan pienentämään rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta, joka pientalojen kohdalla on  $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$ . Kaikki kohdetalot läpäisivät tämän asetuksen arvot.

7 §, *E-luku-vaatimus rakennusluokittain* -kohdassa vaaditaan rakennuksen E-luvun pienennystä kertoimella 0,8. Yksikään kohdetaloista ei tähän arvoon päässyt pelkällä yläpohjan lisälämmöneristyksellä.

YM 4/2013, 9 § antaa mahdollisuuden liittää useassa vaiheessa toteutettavia korjauksia yhden rakennusluvan alle käytettäessä asetuksen pykälää 6 ja 7. Samaan lupaan voidaan liittää esimerkiksi uudet lämmitysjärjestelmät, ikkunaremontit, takat ja muut energiatehokkuuteen vaikuttavat seikat. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 2013 ,1–3.)

### 11.3 Lämpökuvaus ja kosteustekninen toiminta

Lämpökuvaus toteutettiin rakenteiden yläpuolella, koska tarkoituksena oli osoittaa, että puhallusvilla täyttää vanhan eristeen pinnalla mahdollisia eristeiden ja rakenteiden välisiä rakoja. Näin ollen saadaan tasainen ja saumaton lämmöneristekerros, joka osaltaan auttaa pienentämään rakenteen lämpövuotoja sekä pienentämään kylmäsiltojen osuutta lämpöhäviöissä. Tasainen eristekerros ei kuitenkaan auta ilman/höyrynsulun vuotoihin.

Kosteusteknisen toiminnan tarkastelu toteutettiin diffuusiotaulukoiden avulla (Taulukko 17; Liite 12), joiden perusteella voitiin olettaa, ettei sisäpuolinen kosteusrasitus aiheuta ongelmaa yläpohjan rakenteisiin. Kuitenkin tulee varmistua siitä, ettei höyryn-/ilmansulussa ole vuotoja, jotka aiheuttavat ylimääräistä kosteusrasitusta rakenteille sekä siitä, että tuulestilan tuuletus toimii suunnitellusti, jottei yläpohjan kosteus nouse kriittiselle tasolle.

### 11.4 Toteutuneet sähkönkulutusten muutokset

Yläpohjan lisälämmöneristyksen toteuttamisen ryhtymiseen vaikuttavat olennaisesti oletetut säästöt ja asumismukavuuden parantuminen. Tutkimusten perusteella toteutuneet säästöt olivat verrattain vähäiset.

Puhallusvillakauppiaiden lupaukset ja internet-sivuilla olevat laskurit lupaavat useiden satojen eurojen säästöjä vuositasolla ja takaisinmaksuajaksi muutamia vuosia. Näihin tietoihin tulisi suhtautua kriittisesti.

Yläpohjan lisälämmöneristystä suunnitellessa olisi hyvä laskea rakennusosakohtainen lämpöhäviö, joka antaa jo paremmin kuvan siitä, minkä suuruisia energiansäästöt tulisivat olemaan. Silti eroa todelliseen sähkönkulutukseen löytyi. Tähän tietenkin vaikuttivat useat seikat, kuten takan ja ilmalämpöpumpun käyttö, jolloin energiankulutusta ei voida suoraan laskea sähkönkulutuksena. Energiatodistuksen laskennalla saadaan laskettua oletettu energiankulutus kyseiselle rakenteelle. Energiatodistukseen syötetyillä arvoilla saadaan myös oletettu sähkönkulutus eriytettynä esimerkiksi tulisijojen ostoenergiasta (Taulukko 28).

Taulukko 28. Prosentuaaliset säästöt.

Prosentuaaliset energiansäästöt yläpohjan lämmöneristyksistä				
Laskennallinen	Talo 1		Talo 2	Talo 3
lämpöhäviön säästö	1759		974	2075
todellisesta kulutuksesta	13,2 %		5,25 %	9,5 %
Energiatodistus				
yläpohjan säästöt	6,5 %		9,4 %	13,4 %
kWh/vuosi	1556		1929	3218
€/vuosi	1867		231	386
Toteutuneet				
sähkönkulutukset	-2,6 %		2,9 %	4,2 %
kWh/vuosi	-355		491	878
€/vuosi	-42,6		58,9	105,3

Prosentuaalisissa säästöissä (Taulukko 31) Talo 2:n osalta päästiin lähimmäksi toteutuneita säästöjä laskennallisissa säästöissä, säästöarvio oli 5,25 % ja toteutunut oli 2,9 %.

Koska taulukon arvot eivät täysin toteudu, laskettiin energiatodistuksien mukaisten sähkönkulutuksien ja todellisten sähkönkulutuksien erot. Näiden prosentuaalisten erojen mukaisesti korotettiin oletettua sähkönkulutusten muutosta, jolloin huomattiin, etteivät laskelmat päde verrattuna toteutuneisiin sähkönkulutuslukemiin (Taulukko 29).

Taulukko 29. Sähkön ostoarvio vs. kulutus.

Energiatodistuksen mukaisen sähkön oston ja mitatun sähkönkulutuksen erot			
Laskennallinen sähkön osto Energiatodistuksen mukaisesti	Talo 1 23921 kWh	Talo 2 18710 kWh	Talo 3 20671 kWh
Mitattu sähkönkulutus	13638 kWh	16916 kWh	20894 kWh
Ero Energiatodistuksen ja mitatun kulutuksen välillä	-10283 kWh -43 %	-1794 kWh -9,6 %	223 kWh 1,1 %
Energiatodistusten mukainen säästö	1556 kWh	1929 kWh	3218 kWh
Energiatodistuksen mukainen säästö * prosentuaalinen ero	1020 kWh	2114 kWh	3304 kWh
Toteutuneet säästöt	-355 kWh	491 kWh	878 kWh
Ero laskennallisen ja mitatun sähkönkulutuksen välillä	1375 kWh	1623 kWh	2426 kWh

Yksiselitteistä keinoa arvioida tarkasti tulevaa sähkönkulutuksen säästöä ei löytynyt. Rakennusosakohtaisen lämpöhäviön ja energiatodistuksen välillä on huomattavaa hajontaa yläpohjan osalta. Säästöjen arviointiin ja toteutumiseen vaikuttanee suurelta osin käyttäjien tottumukset lämpötilojen ja lämmityslaitteiden käytön suhteen.

Jos toteutuneiden sähkönkulutuslukemien perusteella annetaan prosentuaalinen keskiarvo tutkimuksessa mukana olleista kohdetaloista, keskiarvo sähkönkulutuksen säästölle on 1,4 %. Jos arviosta jätetään pois negatiiviseksi säästökseen painunut tulos, olisi sähkönkulutuksen säästöennuste noin 3,5 %:n luokkaa. Esimerkiksi 15 000 kWh/vuosi kuluttavan omakotitalon sähkönkulutuksen säästö olisi  $15\,000\text{ kWh} \cdot 0,035 = 525\text{ kWh}$  eli noin 63 € vuodessa riippuen lisälämmöneristysten määrästä.

Suosittelisin yläpohjan lisälämmöneristystä harkitsevalle energiatodistuksen laatimista ja vertailua eri rakennepaksuuksien kesken. Yläpohjan prosentuaalisen osuuden lämpöhäviöstä saa suoraan energiatodistuksesta, jonka avulla voi laskea oletetun energiankulutuksen säästön.

Yläpohjan lisälämmöneristysten vaikutus toteutuneeseen sähkönkulutukseen Talo 1:n kohdalla tulos oli negatiivinen, -42,6 € vuodessa. Talo 2:n osalta säästöä syntyi noin 58 € vuodessa ja Talo 3:n osalta 110 € vuodessa.

Yläpohjan lisälämmöneristysten takaisinmaksuaikaa Talo 1:n kohdalla ei pystytty määrittelemään. Takaisinmaksuaika Talo 2:n kohdalla 20,6 vuotta ja Talo 3:n kohdalla 14,5 vuotta.

### 11.5 Mielipiteet ja suositukset

Kaikkien kohdetalojen asukkaat olivat sitä mieltä, että yläpohjan lisälämmöneristys oli hyvä ratkaisu.

Ainoina haittoina pidettiin tuulenohjainten puuttumisesta johtuvaa selluvillan pölyämistä kovalla tuulella sekä rakenteen tiivistymistä, jolloin piste-mäinen ilmavuoto yläpohjasta korostui; tällöin tarvittiin lisää raitisilmaa poistamalla ikkunoiden tuuletusluukkujen tiivisteitä.

Jokainen asukas suosittelisi yläpohjan lisälämmöneristystä.

## LÄHTEET

Caruna (n.d.) Energiaseuranta. Haettu 12.10.2017 ja 15.10.2017 osoitteesta [www.caruna.fi/energiaseuranta](http://www.caruna.fi/energiaseuranta)

Ekovilla (n.d.). Lisäeristyslaskuri. Haettu 7.12.2017 osoitteesta <http://www.ekovilla.com/lisaeristyslaskuri/>

Ekovilla (n.d.). Ominaisuudet. Haettu 24.11.2017 osoitteesta ([www.ekovilla.com/tuotteet/puhallusvilla/ominaisuudet/](http://www.ekovilla.com/tuotteet/puhallusvilla/ominaisuudet/))

Ekovilla (n.d.). Ratkaisut. Haettu 24.11.2017 osoitteesta [www.ekovilla.com/tuotteet/puhallusvilla/ratkaisut/](http://www.ekovilla.com/tuotteet/puhallusvilla/ratkaisut/)

ETA-13/0213 (2013). *Selluvilla in-situ formed loose fill cellulose fibre insulation*. VTT-todistus. Haettu 24.11.2017 osoitteesta [www.vtt-todistus.fi/certificates/ETA-13/0213](http://www.vtt-todistus.fi/certificates/ETA-13/0213)

Ilmatieteen laitos (n.d.) *Tilastoja vuodesta 1961*. Haettu 15.10.2017 osoitteesta <http://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961/>

Isover (2017). *Isover Insulsafe puhallusvilla*. Haettu 24.11.2017 osoitteesta [www.isover.fi/tuotteet/isover-insulsafer-puhallusvilla](http://www.isover.fi/tuotteet/isover-insulsafer-puhallusvilla)

Knuutila, A. (2017) *Rakennusfysiikka 2, Luento 4 Yläpohjan lämpö- ja kosteustase, Moodle*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 20.11.2017 osoitteesta <https://moodle.hamk.fi>

Paroc (2017). Paroc SHT 2. Haettu 24.11.2017 osoitteesta <http://www.paroc.fi/Tuotteet/Rakennusten-rakenteet/Puhallus-ja-irtoeristeet/PAROC-SHT-2>

RakMK C2 (1998). *Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998*. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Haettu 21.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

RakMK C4 LUONNOS (2012). *Lämmöneristys. Ohjeet*. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Haettu 21.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

RakMK D1 (2007). *Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot*. Määräykset ja ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Haettu 21.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

RakMK D2 (2012) *Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto*. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Haettu 21.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)



RakMK D5 (2012). *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta*. Ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Haettu 21.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

RakMk E7 (2004) *Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus*. Ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Haettu 24.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

RIL 107-2012 (2012) *Rakennusten veden- ja kosteuseristysohjeet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Ympäristöministeriö (2017) *Ympäristöministeriön asetus savupiippujen rakenteista ja paloturvallisuudesta*. Haettu 24.11.2017 osoitteesta [www.finlex.fi](http://www.finlex.fi)

YM 4/2013 (2013). *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä*. Asetus. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Haettu 21.11.2017 osoitteesta [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tiedot

Päivämäärä: 13.10.2017

Osoite: \_\_\_\_\_ Asukkaat: 1

1. Rakennusvuosi 1977  
Alkuperäiset piirustukset saatavilla: Kyllä Ei
2. Lämmitettävä pinta-ala 183 m<sup>2</sup>
3. Lämmitysmuoto sähkölämmitys, uunissa talika

Paneeli	Kipsilevy	Lastulevy	Harvalauta	Rakennusmuovi	Ilmansulkupaperi
		×	×	×	

- |           |           |
|-----------|-----------|
| Lasivilla | Kivivilla |
| X         |           |

Paksuus	250 mm
---------	--------

- |           |           |            |
|-----------|-----------|------------|
| Lasivilla | Kivivilla | Selluvilla |
|           |           | 20         |

Paksuus	
Paksuus	mm

Asennuksen päivämäärä: 29.5.2015

7. Arvioitu energiansäästö/vuosi  
— kW/h €

8. Laskutettu lisäeristeen määrä kuutioina  
180 m<sup>3</sup>

9. Lisäeristysten kokonaisarvo  
2294 €

10. Lisäeristysten hinta kotitalousvähennyksen jälkeen  
— €

11. Arvioitu takaisinmaksuaika  
— vuosi — kk

# Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tiedot

Sivu 2

E-luvun laskentaan

## 12. Ilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimainen	Koneellinen poisto	LTO-kone
		v. 2004

## 13. Ilmalämpöpumppu

Lämmitys	Viilennys	SCOP/COP-arvo
kk	kk	

## 14. Takka

Varaava takka	Kiertoilmataikka	Avotakka
9 kk	kk	kk
3 m³	m³	m³

## 15. Ikkunat ja ovet

Alkuperäiset	X	Vaihdettu	V/kk	U-arvo
Tyyppi: lämpölasit		Ovet	2006	
		Ikkunat		

## 16. Seinien rakenne

Materiaali:	Paksuus	mm
Materiaali:	Paksuus	mm
Materiaali:	Paksuus	mm
Materiaali:	Paksuus	mm
Materiaali:	Paksuus	mm

U-arvo: \_\_\_\_\_ Kok.paksuus \_\_\_\_\_ mm

## 17. Lattian rakenne

Materiaali:	Paksuus	mm
Materiaali:	Paksuus	mm
Materiaali:	Paksuus	mm

U-arvo: \_\_\_\_\_ Kok.paksuus \_\_\_\_\_ mm

## 18. Ilmanvuotoluku

Mitattu	Kyllä	Arvo	Ei
			X

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tyytyväisyyskysely

Sivu 1

Päivämäärä: 13.10.2017

Osoite: \_\_\_\_\_ Asukkaat: \_\_\_\_\_

Asukkaiden tyytyväisyys yläpohjan lisäeristyksestä

Asteikolla	1	2	3	4	5
	Ei		Neutraali		Kyllä

1. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä asukkaalle helppo ratkaisu?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Saitteko urakoitsijalta selkeän kuvauksen lisäeristyksestä?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä mielestänne kohtuuhintainen?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Paransiko lisäeristys asumismukavuutta?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Laskiko lisäeristys lämmityskustannuksia?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Suosittelettko yläpohjan lisäeristystä muille?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Pisteet yhteensä: 23

Huono	Neutraali	Hyvä
6-14 pistettä	15-21 pistettä	22-30 pistettä

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristyksen tyytyväisyyskysely

Sivu 2

7. Liittyikö yläpohjan lisäeristyksen toteutukseen ongelmia?

TOTEUTUS HOIDETTIIN AMMATTITÄIDÖLLÄ.

8. Muuta yläpohjan lisäeristykseen liittyvää?

ENERGIAKUSTANNUKSIA ON VAIKEA TÄSMÄLLISESTI ARVIOIDA, KUN TALOSSA ASUU YKSI HENKILÖ, JOKA ON PALJON POISSA KOTOA. ON SELVÄÄ, ETÄ LISÄERISTYS ALENTAA ENERGIAKUSTANNUKSIA.

KUN TALOSTA TULI TIIVIIMPI, SE VAIKUTTI KORVAUSILMAN SAAMISEEN. MUUTAMISTA IKKUNOISTA VÄHENNETTIIN TIIVISTEITÄ, JOTTA SAATAISIIN PAREMMIN RAITISTA ILMAA.

## Talo 2, Kysely

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tiedot

Sivu 1

Päivämäärä: 12.10.2017Osoite: \_\_\_\_\_ Aukkaat: 2 kpl

1. Rakennusvuosi 1975  
 Alkuperäiset piirustukset saatavilla: ☒ Kyllä ☐ Ei

2. Lämmitettävä pinta-ala 112 m<sup>2</sup> 441 m<sup>3</sup>

3. Lämmitysmuoto Suora sähkö

4. Yläpohjan rakennekerrokset pääsääntöisesti

Paneeli	Kipsilevy	Lastulevy	Harvalauta	Rakennusmuovi	Ilmansulkupaperi
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

5. Yläpohjan eristeen laatu ja paksuus ennen lisäeristystä

Lasivilla	Kivivilla
	<input checked="" type="checkbox"/>

Paksuus 225 mmUrakoitsija  
U-arvo 0,21

6. Urakoitsijan ilmoittamat tiedot lisäeristysten laadusta ja paksuudesta

Lasivilla	Kivivilla	Selluvilla
		<input checked="" type="checkbox"/>

Paksuus  
Paksuus 150 mmAsennuksen päivämäärä: 1.9.2016U-r  
Uudelle  
U-arvo 0,12

7. Arvioitu energiansäästö/vuosi  
 \_\_\_\_\_ kW/h 405 €

8. Laskutettu lisäeristeen määrä kuutioina

17,55 m<sup>3</sup>

9. Lisäeristysten kokonaishinta

1350 €

10. Lisäeristysten hinta kotitalousvähennyksen jälkeen

986 €

11. Arvioitu takaisinmaksuaika

3 vuosi 4 kk

Termet 40 sätettä

Smartia OPTI-M

# Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tiedot

Sivu 2

E-luvun laskentaan

## 12. Ilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimainen	Koneellinen poisto	LTO-kone
X		

## 13. Ilmalämpöpumppu

Lämmitys	Viilennys	SCOP/COP-arvo
844 kk	— kk	5.2

## 14. Takka

Varaava takka	Kiertoilmataikka	Avotakka
kk	844 kk	kk
m³	3 m³	m³

## 15. Ikkunat ja ovet

Alkuperäiset	23 m²	Vaihdettu	V/kk	U-arvo
Tyyppi: 3 kerä.		Ovet		
		Ikkunat	26.5.2016	

## 16. Seinien rakenne

Materiaali: KAHITILI	Paksuus	13 cm	mm
Materiaali: RIVIVILLA	Paksuus	15 cm	mm
Materiaali: LAMARAKA	Paksuus	20 mm	mm
Materiaali: KAHITILI	Paksuus	13 cm	mm
Materiaali:	Paksuus		mm

U-arvo: \_\_\_\_\_ Kok.paksuus \_\_\_\_\_ mm

## 17. Lattian rakenne

Materiaali: PCTOON	Paksuus	5 cm	mm
Materiaali: TYROX	Paksuus	150 mm	mm
Materiaali: pohja laatta	Paksuus	150 mm	mm

U-arvo: \_\_\_\_\_ Kok.paksuus \_\_\_\_\_ mm

## 18. Ilmanvuotoluku

Mitattu	Kyllä	Arvo	Ei X

# Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tyytyväisyyskysely

Sivu 1

Päivämäärä: 12.10.2017Osoite: \_\_\_\_\_ Aukkaat: 2 kpl

Aukkaiden tyytyväisyys yläpohjan lisäeristyksestä

Asteikolla	1	2	3	4	5
	Ei		Neutraali		Kyllä

1. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä asukkaalle helppo ratkaisu?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Saitteko urakoitsijalta selkeän kuvauksen lisäeristyksestä?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä mielestänne kohtuuhintainen?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Paransiko lisäeristys asumismukavuutta?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Laskiko lisäeristys lämmityskustannuksia?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Suosittelettko yläpohjan lisäeristystä muille?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Pisteet yhteensä: 30Huono  
6-14 pistettäNeutraali  
15-21 pistettä

Hyvä
22-30 pistettä



## Omakotitalon yläpohjan lisäeristyksen tyytyväisyyskysely

Sivu 2

7. Liittyikö yläpohjan lisäeristyksen toteutukseen ongelmia?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

8. Muuta yläpohjan lisäeristykseen liittyvää?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Talo 3, Kysely

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tiedot

Sivu 1

Päivämäärä: 15.10.2017

Osoite: \_\_\_\_\_ Asukkaat: \_\_\_\_\_

1. Rakennusvuosi 74  
 Alkuperäiset piirustukset saatavilla: Kyllä Ei

2. Lämmitettävä pinta-ala 138 m<sup>2</sup> m<sup>2</sup> / 484 m<sup>2</sup>

3. Lämmitysmuoto Suorasähkö

4. Yläpohjan rakennekerrokset pääsääntöisesti

Paneeli	Kipsilevy	Lastulevy	Harvalauta	Rakennusmuovi	Ilmansulkupaperi
		X	X	X	

5. Yläpohjan eristeen laatu ja paksuus ennen lisäeristystä

Lasivilla	Kivivilla
X	

Paksuus	<u>200</u> mm
---------	---------------

6. Urakoitsijan ilmoittamat tiedot lisäeristysten laadusta ja paksuudesta

Lasivilla	Kivivilla	Selluvilla
		X

Paksuus

Paksuus	<u>300</u> mm
---------	---------------

Asennuksen päivämäärä: 12/2015

7. Arvioitu energiansäästö/vuosi  
 \_\_\_\_\_ kW/h 462 €

8. Laskutettu lisäeristeen määrä kuutioina  
≈ 48 m<sup>3</sup>

9. Lisäeristysten kokonaishinta  
vi. 1600 €

10. Lisäeristysten hinta kotitalousvähennyksen jälkeen  
 \_\_\_\_\_ €

11. Arvioitu takaisinmaksuaika  
 \_\_\_\_\_ vuosi \_\_\_\_\_ kk

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tiedot

Sivu 2

E-luvun laskentaan

## 12. Ilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimainen	Koneellinen poisto	LTO-kone
		X

hyötysuhde 0,6? ~97

## 13. Ilmalämpöpumppu

Lämmitys	Viilennys	SCOP/COP-arvo
9 kk	— kk	

mitsubishi 25.7.  
yli 10v. 2008

## 14. Takka

Varaava takka	Kiertoilmataikka	Avotakka
kk	kk	—
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>

## 15. Ikkunat ja ovet

Alkuperäiset	1 ovi	Vaihdettu	V/kk	U-arvo
Tyyppi:		Ovet 26.8	2010?	
		Ikkunat	97/5	

3 kpl  
lumen

## 16. Seinien rakenne

Materiaali:	Kipsi	Paksuus	13	mm
Materiaali:	muovi	Paksuus	0,2	mm
Materiaali:	Runko+villa	Paksuus	~150	mm
Materiaali:	tulensuoja	Paksuus	12	mm
Materiaali:	Kahi	Paksuus	130	mm

U-arvo: \_\_\_\_\_ Kok.paksuus \_\_\_\_\_ mm

## 17. Lattian rakenne

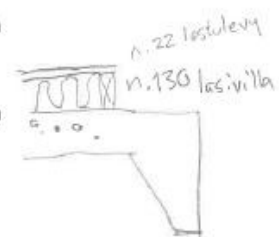
Materiaali:	80-90 betoni	Paksuus	50-90	mm
Materiaali:	100-150	Paksuus	EPS	mm
Materiaali:	150 mm	Paksuus	betoni	mm

Lattialaattat

U-arvo: \_\_\_\_\_ Kok.paksuus \_\_\_\_\_ mm

## 18. Ilmanvuotoluku

Mitattu	Kyllä	Arvo	Ei
			X

Jäspi vaaka rosteri  
300litraa  
hyvä eristys  
komposiittiputket  
ei kiertojohto

## Omakotitalon yläpohjan lisäeristyksen tyytyväisyyskysely

Sivu 2

## 7. Liittyikö yläpohjan lisäeristyksen toteutukseen ongelmia?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 8. Muuta yläpohjan lisäeristykseen liittyvää?

tuulensuojalevyt olivat valmiina, mutta karoitatuella villaa  
pölyä tuuletusraoista. Tuulensuojalevyjä/pakveja ei tarjottu lisäeristyk-  
sen yhteydessä

---

---

---

---

---

---

---

# Omakotitalon yläpohjan lisäeristysten tyytyväisyyskysely

Päivämäärä: \_\_\_\_\_

Osoite: \_\_\_\_\_ Asukkaat: \_\_\_\_\_

Asukkaiden tyytyväisyys yläpohjan lisäeristyksestä

Asteikolla	1	2	3	4	5
	Ei		Neutraali		Kyllä

1. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä asukkaalle helppo ratkaisu?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Saitteko urakoitsijalta selkeän kuvauksen lisäeristyksestä?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Oliko lisäeristys urakoitsijan tekemänä mielestänne kohtuuhintainen?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Paransiko lisäeristys asumismukavuutta?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Laskiko lisäeristys lämmityskustannuksia?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Suosittelettko yläpohjan lisäeristystä muille?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Pisteet yhteensä: \_\_\_\_\_

Huono	Neutraali	Hyvä
6-14 pistettä	15-21 pistettä	22-30 pistettä

Energiaselvitykset, Talo 1

# ENERGIASELVITYS

Rakennuskohde: **Talo 1, vanha rakenne**  
Osoite:

Rakennustunnus:  
Rakennuslupatunnus:

Käyttötarkoituusluokka: **1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot**  
**Pientalo**

Käytetyt laskentamenetelmät: **D5/2012**  
Käytetyt säätiedot: **I Helsinki-Vantaa**  
Käytetyt säätiedot, tehon laskenta: **I Helsinki-Vantaa**

Energiaselvityksen laatija:  
Energiaselvityksen tilaaja:

Päiväys:

Energiaselvityksen laatijan allekirjoitus: \_\_\_\_\_

## ENERGIASELVITYS, TULOKSET

E-luku	267 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luku, vaatimus	161 kWh/(m <sup>2</sup> a) (Pientalot, nettoala 150m <sup>2</sup> -600m <sup>2</sup> )
	E-luku ei täytä vaatimusta.
Eosto	171 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Rakek	139 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Suunnitteluratkaisu	EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA
---------------------	----------------------

Laskentojen lähtötiedot ja tulosten määräytyminen on esitetty tarkemmin jäljempänä tässä dokumentissa.

# ENERGIASELVITYS

Rakennuskohde: **Talo 1, uusi rakenne**  
Osoite:

Rakennustunnus:  
Rakennuslupatunnus:

Käyttötarkoituusluokka: **1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot  
Pientalo**

Käytetyt laskentamenetelmät: **D5/2012**  
Käytetyt säätiedot: **I Helsinki-Vantaa**  
Käytetyt säätiedot, tehon laskenta: **I Helsinki-Vantaa**

Energiaselvityksen laatija:  
Energiaselvityksen tilaaja:

Päiväys:

Energiaselvityksen laatijan allekirjoitus: \_\_\_\_\_



## ENERGIASELVITYS, TULOKSET

E-luku	250 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luku, vaatimus	161 kWh/(m <sup>2</sup> a) (Pientalot, nettoala 150m <sup>2</sup> -600m <sup>2</sup> )
	E-luku ei täytä vaatimusta.
Eosto	160 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Rakek	129 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Suunnitteluratkaisu EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Laskentojen lähtötiedot ja tulosten määräytyminen on esitetty tarkemmin jäljempänä tässä dokumentissa.

Energiaselvitykset, Talo 2

# ENERGIASELVITYS

Rakennuskohde: **Talo 2, vanha rakenne**  
Osoite:

Rakennustunnus:  
Rakennuslupatunnus:

Käyttötarkoituksluokka: **1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot  
Pientalo**

Käytetyt laskentamenetelmät: **D5/2012**  
Käytetyt säätiedot: **I Helsinki-Vantaa**  
Käytetyt säätiedot, tehon laskenta: **I Helsinki-Vantaa**

Energiaselvityksen laatija:  
Energiaselvityksen tilaaja:

Päiväys:

Energiaselvityksen laatijan allekirjoitus: \_\_\_\_\_

## ENERGIASELVITYS, TULOKSET

E-luku	299 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luku, vaatimus	201 kWh/(m <sup>2</sup> a) (Pientalot, nettoala 120m <sup>2</sup> -150m <sup>2</sup> )
	E-luku ei täytä vaatimusta.
Eosto	195 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Rakek	154 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Suunnitteluratkaisu EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Laskentojen lähtötiedot ja tulosten määräytyminen on esitetty tarkemmin jäljempänä tässä dokumentissa.

# ENERGIASELVITYS

Rakennuskohde: **Talo 2, uusi rakenne**

Osoite:

Rakennustunnus:

Rakennuslupatunnus:

Käyttötarkoitusluokka: **1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot**  
**Pientalo**

Käytetyt laskentamenetelmät: **D5/2012**

Käytetyt säätiedot: **I Helsinki-Vantaa**

Käytetyt säätiedot, tehon laskenta: **I Helsinki-Vantaa**

Energiaselvityksen laatija:

Energiaselvityksen tilaaja:

Päiväys:

Energiaselvityksen laatijan allekirjoitus: \_\_\_\_\_

## ENERGIASELVITYS, TULOKSET

E-luku	275 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luku, vaatimus	201 kWh/(m <sup>2</sup> a) (Pientalot, nettoala 120m <sup>2</sup> -150m <sup>2</sup> )
	E-luku ei täytä vaatimusta.
Eosto	181 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Rakek	140 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Suunnitteluratkaisu EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Laskentojen lähtötiedot ja tulosten määräytyminen on esitetty tarkemmin jäljempänä tässä dokumentissa.

Energiaselvitykset, Talo 3

# ENERGIASELVITYS

Rakennuskohde:

**Talo 3, vanha rakenne**

Osoite:

Rakennustunnus:

Rakennuslupatunnus:

Käyttötarkoitusluokka:

**1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot  
Pientalo**

Käytetyt laskentamenetelmät:

**D5/2012**

Käytetyt säätiedot:

**I Helsinki-Vantaa**Käytetyt säätiedot, tehon laskenta: **I Helsinki-Vantaa**

Energiaselvityksen laatija:

Energiaselvityksen tilaaja:

Päiväys:

Energiaselvityksen laatijan allekirjoitus: \_\_\_\_\_

## ENERGIASELVITYS, TULOKSET

E-luku	305 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luku, vaatimus	185 kWh/(m <sup>2</sup> a) (Pientalot, nettoala 120m <sup>2</sup> -150m <sup>2</sup> )
	E-luku ei täytä vaatimusta.
Eosto	179 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Rakek	165 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Suunnitteluratkaisu	EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA
---------------------	----------------------

Laskentojen lähtötiedot ja tulosten määräytyminen on esitetty tarkemmin jäljempänä tässä dokumentissa.

# ENERGIASELVITYS

Rakennuskohde: **Talo 3, uusi rakenne**  
Osoite:

Rakennustunnus:  
Rakennuslupatunnus:

Käyttötarkoituusluokka: **1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot**  
**Pientalo**

Käytetyt laskentamenetelmät: **D5/2012**  
Käytetyt säätiedot: **I Helsinki-Vantaa**  
Käytetyt säätiedot, tehon laskenta: **I Helsinki-Vantaa**

Energiaselvityksen laatija:  
Energiaselvityksen tilaaja:

Päiväys:

Energiaselvityksen laatijan allekirjoitus: \_\_\_\_\_



## ENERGIASELVITYS, TULOKSET

E-luku	266 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luku, vaatimus	185 kWh/(m <sup>2</sup> a) (Pientalot, nettoala 120m <sup>2</sup> -150m <sup>2</sup> )
	E-luku ei täytä vaatimusta.
Eosto	156 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Rakek	142 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Suunnitteluratkaisu      EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Laskentojen lähtötiedot ja tulosten määräytyminen on esitetty tarkemmin jäljempänä tässä dokumentissa.

## Energiatodistukset, Talo 1

## ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

Talo 1, vanha rakenne

Rakennustunnus:

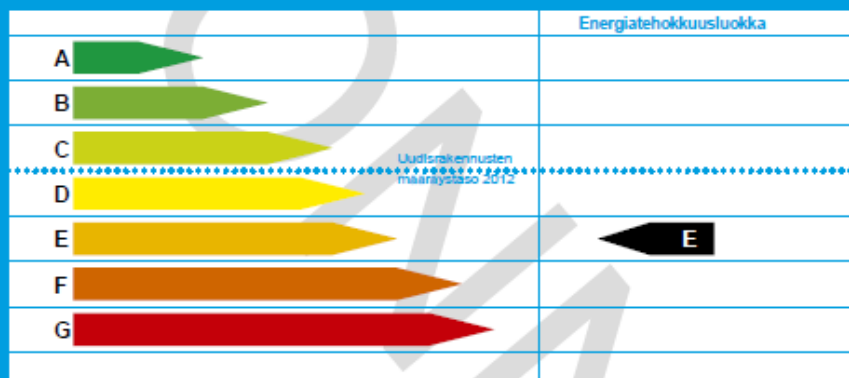
Rakennuksen valmistumisvuosi:

1977

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Todistustunnus:



Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-Juku)

267 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi)

Todistuksen laatija:

Yritys:

Niklas Kotonen

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

30.12.2017

Viimeinen voimassaolopäivä:

Energiatodistus perustuu lakiin rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013).

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUudesta													
Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostoonenergiankulutus													
Lämmitetty nettoala	170 m <sup>2</sup>												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus													
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus													
Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoonenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	-	kWh <sub>te</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)									
Sähkö	25712	151.2	1.7	257.1									
Uusiutuva polttoaine	3333	19.6	0.5	9.8									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3872	22.8											
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				267									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokittelustaiteikko													
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A (&lt;=79)</td> <td>B (&lt;=124)</td> <td>C (&lt;=161)</td> </tr> <tr> <td>D (&lt;=241)</td> <td>E (&lt;=371)</td> <td>F (&lt;=441)</td> </tr> <tr> <td>G (&gt;441)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A (<=79)	B (<=124)	C (<=161)	D (<=241)	E (<=371)	F (<=441)	G (>441)		
A (<=79)	B (<=124)	C (<=161)											
D (<=241)	E (<=371)	F (<=441)											
G (>441)													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	E												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kerroin. Kulutus on laskettu standardikäyttöä lämmitettyä nettoalaa kohden. Jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jaahdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapolttoammitukset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
ENERGIA TEHOKKUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET													
Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi													
Tämä osio ei koske uudisrakennuksia													
<p>Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin kohdassa "Toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi".</p>													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

1977

Lämmitetty nettoala

170

m²

Rakennusvaippa

Ilmanvuotoluku q50

5.1

m³/(h·m²)

A

m²

U

W/(m²K)

UxA

W/K

Osuus lämpöhäviöistä

%

Ulkoseinät

157

0.25

39

19.6

Yläpohja

170

0.19

32

16.1

Alapohja

170

0.37

63

31.7

Ikkunat

20

1.8

36

18.1

Ulkiovet

6

1.8

11

5.5

Kylmäsiilat

-

-

18

9

Ikkunat ilmansuunnittain

A

m²

U

W/(m²K)

gkohtisuora

-

Pohjoinen

0

0

0

Koillinen

0

0

0

Itä

0

0

0

Kaakko

8

1.8

0.6

Etelä

0

0

0

Lounas

7

1.8

0.6

Länsi

0

0

0

Luode

6

1.8

0.6

Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:

Ilmavirta  
tulo/poisto  
(m³/s)/(m³/s)

Järjestelmän  
SFP-luku  
kW/(m³/s)

LTO:n  
lämpötilasuhde

Jäätymisenesto

°C

Pääilmanvaihtokoneet

0.068/0.068

1.47

60

-

Erillispoistot

0

0

-

-

Ilmanvaihtojärjestelmä

0.068/0.068

1.47

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:

45%

Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus:

Tuoton  
hyötysuhde

Jaon ja luovutuksen  
hyötysuhde

Lämpökerroin (1)

Apulaitteiden  
sähkökäyttö (2)  
kWh/(m²·vuosi)

Tilojen ja iv:n lämmitys

1

0.94

-

0.5

LKV:n valmistus

1

0.75

-

0

1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

Määrä  
kpl

Tuotto  
kWh

Varaava tallsija

1

2000

Ilmalämpöpumppu

1

6000

Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin

-

Jäähdytysjärjestelmä

Lämmin käyttövesi

Ominaiskulutus  
dm³/(m²·vuosi)

Lämmitysenergian nettotarve  
kWh/(m²·vuosi)

Lämmin käyttövesi

107.65

6.28

Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

Käyttöaste

W/m²

Henkilöt

0.6

2

Kuluttajalaitteet

0.6

3

Valaistus

0.1

8

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

1977

Lämmitetty nettoala, m²

170

E-luku, kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

267

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot

Laskettu ostoenergia kWh/vuosi

Energiamuodon kerroin -

Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh<sub>E</sub>/vuosi

kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

Sähkö

25712

1.7

43710

257.1

Uusiutuva polttoaine

3333

0.5

1667

9.8

YHTEENSÄ

29045

45377

267

Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus

Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

6000

35.29

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

Lämmitysjärjestelmä

Tilojen lämmitys (1)

Tuulilman lämmitys

Lämpimän käyttöveden valmistus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Jäähdytysjärjestelmä

Kuluttajalaitteet ja valaistus

YHTEENSÄ

Sähkö kWh/(m²vuosi)

0.5

21.62

0

5.15

0

22.78

50.05

Lämpö kWh/(m²vuosi)

73.41

0

16.02

-

-

-

89.43

Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi)

-

-

-

-

0.0

-

0.0

1) Ilmanvaihtojen tuulilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

Tilojen lämmitys (2)

Ilmanvaihtojen lämmitys (3)

Lämpimän käyttöveden valmistus

Jäähdytys

kWh/vuosi

18548

3676

1068

0

kWh/(m²vuosi)

109.11

21.62

6.28

0

2) sisältää tuulilman, korvausilman ja tuulilman lämpenemisen tilassa

3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa

Lämpökuormat

Aurinko

Henkilöt

Kuluttajalaitteet

Valaistus

Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä

kWh/vuosi

6135

1787

2681

1191

650

kWh/(m²vuosi)

36.1

10.5

15.8

7

3.8

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

CADS 17.0

# ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

**Talo 1, uusi rakenne**

Rakennustunnus:

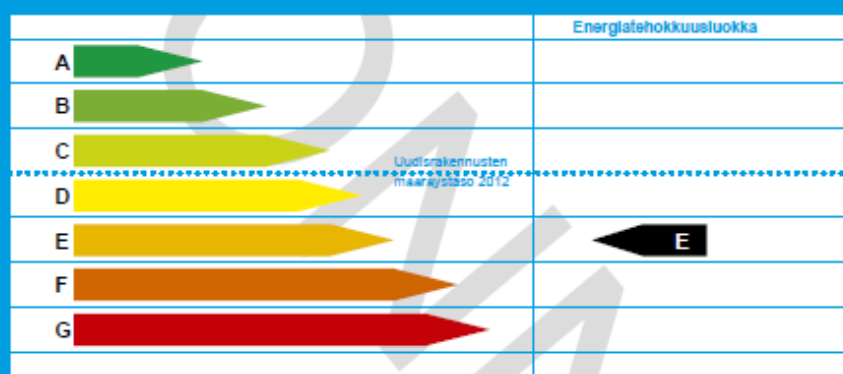
Rakennuksen valmistumisvuosi:

**1977**

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

**1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)**

Todistustunnus:



Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku)

**250 kWh<sub>e</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi)**

Todistuksen laatija:

**Niklas Kotonen**

Yritys:

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

**30.12.2017**

Viimeinen voimassaolopäivä:

Energiatodistus perustuu lakiin rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013).

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIA TEHO KUUDESTA

Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostenergiankulutus

Lämmitetty nettoala170 m²

Lämmitysjärjestelmän kuvaus

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus

Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)	-	kWh <sub>E</sub> /(m²vuosi)
Sähkö	23921	140.7	1.7	239.2
Uusiutuva polttoaine	3333	19.6	0.5	9.8
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3872	22.8		
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				250

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokittelustaiteikko

Luokkien rajat asteikolla

A (<=79)	B (<=124)	C (<=161)
D (<=241)	E (<=371)	F (<=441)
G (>=441)		

Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka

E

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu standardikäyttöä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jaahdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapoltolämmitykset ja ulkovaivat eivät sisälly E-lukuun.

ENERGIA TEHO KUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET	
Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi	
Tämä osio ei koske uudisrakennuksia	
<p>Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin kohdassa "Toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi".</p>	

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

1977

Lämmitetty nettoala

170

m²

Rakennusvaippa

Ilmävaihtoluku q50

5.1

m³/(h·m²)

A

m²

U

W/(m²K)

UxA

W/K

Osuus lämpöhäviöstä

%

Ulkoseinät

157

0.25

39

21

Yläpohja

170

0.12

20

10.8

Alapohja

170

0.37

63

33.9

Ikkunat

20

1.8

36

19.4

Ulkio-ovet

6

1.8

11

5.9

Kylmäsiilat

-

-

17

9.1

Ikkunat ilmansuunnittain

A

m²

U

W/(m²K)

gkohtisuora

-

Pohjoinen

0

0

0

Koillinen

0

0

0

Itä

0

0

0

Kaakko

8

1.8

0.6

Etelä

0

0

0

Lounas

7

1.8

0.6

Länsi

0

0

0

Luode

6

1.8

0.6

Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:

Ilmavirta

tulo/polsto

(m³/s)/(m³/s)

Järjestelmän

SFP-luku

kW/(m³/s)

LTO:n

lämpötilasuhde

-

Jäätymisenesto

°C

Pääilmanvaihtokoneet

0.068/0.068

1.47

60

-

Erillispolstot

0

0

-

-

Ilmanvaihtojärjestelmä

0.068/0.068

1.47

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:

45%

Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus:

Tuoton

hyötysuhde

-

Jaon ja luovutuksen

hyötysuhde

-

Lämpökerroin (1)

-

Apulaitteiden

sähkönkäyttö (2)

kWh/(m³vuosi)

Tilojen ja iv:n lämmitys

1

0.94

-

0.5

LKV:n valmistus

1

0.75

-

0

1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

Määrä

kpl

Tuotto

kWh

Varaava tulisija

1

2000

Ilmalämpöpumppu

1

6000

Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin

-

Jäähdytysjärjestelmä

Lämmin käyttövesi

Ominaiskulutus

dm³/(m²vuosi)

Lämmitysenergian nettotarve

kWh/(m²vuosi)

Lämmin käyttövesi

107.65

6.28

Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

Käyttöaste

W/m²

Henkilöt

0.6

2

Kuluttajalaitteet

0.6

3

Vaistutus

0.1

8



E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttökäyttöluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivit- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

1977

Lämmitetty nettoala, m²

170

E-luku, kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

250

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot

Laskettu ostoenergia kWh/vuosi

Energiamuodon kerroin -

Energiamuodon kertomalla painotettu energiankulutus kWh<sub>E</sub>/vuosi

kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

Sähkö

23921

1.7

40666

239.2

Uusiutuva polttoaine

3333

0.5

1667

9.8

YHTEENSÄ

27254

42332

250

Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus

Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

6000

35.29

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

Sähkö kWh/(m²vuosi)

Lämpö kWh/(m²vuosi)

Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi)

Lämmitysjärjestelmä

Tilojen lämmitys (1)

0.5

62.87

-

Tuotilman lämmitys

21.62

0

-

Lämpimän käyttöveden valmistus

0

16.02

-

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

5.15

-

-

Jäähdytysjärjestelmä

0

-

0.0

Kuluttajalaitteet ja valaistus

22.78

-

-

YHTEENSÄ

50.05

78.89

0.0

1) Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

Tilojen lämmitys (2)

16858

99.16

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys (3)

3676

21.62

Lämpimän käyttöveden valmistus

1068

6.28

Jäähdytys

0

0

2) sisältää tuotilman, korvausilman ja tuotilman lämmityksen tilassa

3) laskettu lämmönlähteenoton kanssa

Lämpökuormat

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

Aurinko

6135

36.1

Henkilöt

1787

10.5

Kuluttajalaitteet

2681

15.8

Valaistus

1191

7

Lämpimän käyttöveden kiertäminen ja varastoinnin häviöistä

650

3.8

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

CADS 17.0

## Energiatodistukset, Talo 2

## ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

Talo 2, vanha rakenne

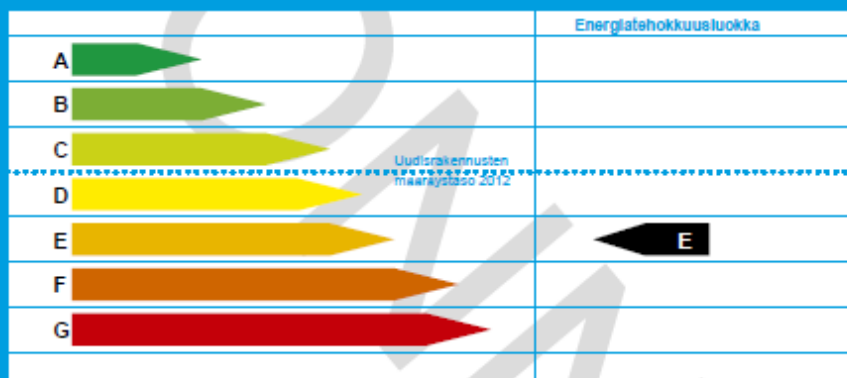
Rakennustunnus:

Rakennuksen valmistumisvuosi:

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Todistustunnus:



Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku)

299 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi)

Todistuksen laatija:

Yritys:

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

Viimeinen voimassaolopäivä:

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAATEHOKKUUDESTA

Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostoenergiankulutus

Lämmitetty nettoala	122 m <sup>2</sup>
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	sähkö
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Painovoimainen

Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	-	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)
Sähkö	20413	167.3	1.7	284.4
Uusiutuva polttoaine	3333	27.3	0.5	13.7
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	2779	22.8		
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				299

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokittelustaieikko									
Luokkien rajat asteikolla									
<table><tr><td>A (&lt;=92)</td><td>B (&lt;=161)</td><td>C (&lt;=201)</td></tr><tr><td>D (&lt;=281)</td><td>E (&lt;=411)</td><td>F (&lt;=481)</td></tr><tr><td>G (&gt;481)</td><td></td><td></td></tr></table>	A (<=92)	B (<=161)	C (<=201)	D (<=281)	E (<=411)	F (<=481)	G (>481)		
A (<=92)	B (<=161)	C (<=201)							
D (<=281)	E (<=411)	F (<=481)							
G (>481)									
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	E								

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kerroimiin. Kulutus on laskettu standardikayttölä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jaahdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapoltinlämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

ENERGIAATEHOKKUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET

Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi

Tämä osio ei koske uudisrakennuksia

Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin kohdassa "Toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi".

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivit- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

Lämmitetty nettoala

122

m²

Rakennusvaippa

Ilmanvuotoluokka q50

5.1

m³/(h·m²)

A

m²

U

W/(m²·K)

UxA

W/K

Osuus lämpöhäviöistä %

Ulkoseinät

110

0.24

26

23.2

Yläpohja

122

0.21

26

23.2

Alapohja

122

0.24

30

26.8

Ikkunat

14

1

14

12.5

Ulkiovet

6

1

6

5.4

Kylmäsiilat

-

-

10

8.9

Ikkunat ilmansuunnittain

A

m²

U

W/(m²·K)

gkohtisuora

-

Pohjoinen

0

0

0

Koillinen

0

0

0

Itä

0

0

0

Kaakko

9

1

0.6

Etelä

0

0

0

Lounas

0

0

0

Länsi

0

0

0

Luode

5

1

0.6

Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:

Painovoimainen

Ilmavirta  
tulo/poisto  
(m³/s)/(m³/s)

Järjestelmän  
SFP-luku  
kW/(m³/s)

LTO:n  
lämpötilasuhde

Jäätyminenesto  
°C

Pääilmanvaihtokoneet

0/0.049

0

0

-

Erillispöistot

0

0

-

-

Ilmanvaihtojärjestelmä

0/0.049

0

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:

0%

Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus:

sähkö

Tuoton  
hyötysuhde

Jaon ja luovutuksen  
hyötysuhde

Lämpökerroin (1)

Apulaitteiden  
sähkönkäyttö (2)  
kWh/(m²·vuosi)

Tilojen ja lvi:n lämmitys

1

0.93

-

0.5

LKV:n valmistus

1

0.75

-

0

1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

Määrä  
kpl

Tuotto  
kWh

Varaava tallsija

1

2000

Ilmalämpöpumppu

1

4880

Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin

-

Jäähdytysjärjestelmä

Lämmin käyttövesi

Ominaiskulutus  
dm³/(m²·vuosi)

Lämmitysenergian nettotarve  
kWh/(m²·vuosi)

Lämmin käyttövesi

299.18

17.45

Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

Käyttöaste

W/m²

Henkilöt

0.6

2

Kuluttajalaitteet

0.6

3

Valaistus

0.1

8

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

Lämmitetty nettoala, m²

122

E-luku, kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

299

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertomella painotettu energiankulutus kWh <sub>E</sub> /vuosi kWh <sub>E</sub> /(m²vuosi)	
Sähkö	20413	1.7	34702	284.4
Uusiutuva polttoaine	3333	0.5	1667	13.7
YHTEENSÄ	23746		36369	299

Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus

	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia	4880	40

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

	Sähkö kWh/(m²vuosi)	Lämpö kWh/(m²vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi)
Lämmitysjärjestelmä			
Tilojen lämmitys (1)	0.5	96.78	-
Tuulilman lämmitys	0	0	-
Lämpimän käyttöveden valmistus	0	33.33	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	0	-	-
Jäähdytysjärjestelmä	0	-	0.0
Kuluttajalaitteet ja valaistus	22.78	-	-
YHTEENSÄ	23.28	130.7	0.0

1) Ilmanvaihdon tuulilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)
Tilojen lämmitys (2)	16618	136.21
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	0	0
Lämpimän käyttöveden valmistus	2129	17.45
Jäähdytys	0	0

2) sisältää tuulilman, korvausilman ja tuulilman lämpenemisen tilassa

3) laskettu lämmönlähteenoton kanssa

Lämpökuormat

	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)
Aurinko	3477	28.5
Henkilöt	1282	10.5
Kuluttajalaitteet	1924	15.8
Valaistus	855	7
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä	650	5.3

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

CADS 17.0

# ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

**Talo 2, uusi rakenne**

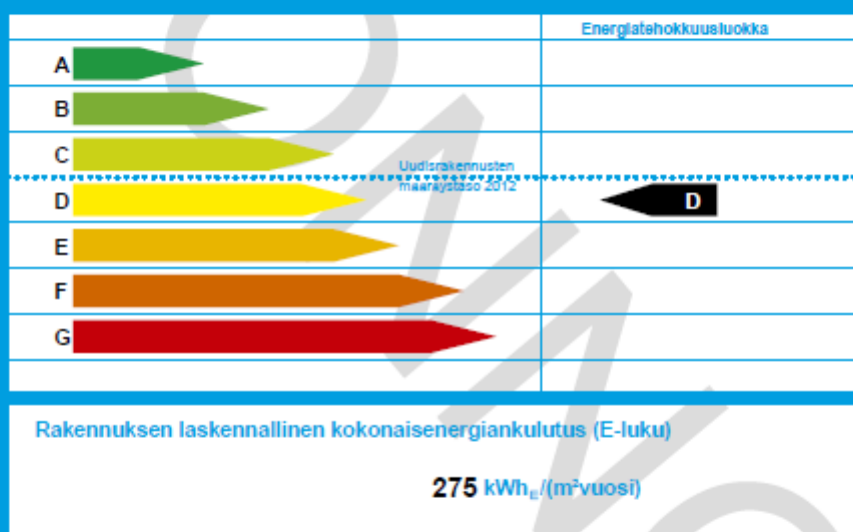
Rakennustunnus:

Rakennuksen valmistumisvuosi:

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

**1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)**

Todistustunnus:



Todistuksen laatija:

Yritys:

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

Viimeinen voimassaolopäivä:

Energiatodistus perustuu lakiin rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013).

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUUDESTA													
Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostoeenergiankulutus													
Lämmitetty nettoala	122 m <sup>2</sup>												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	sähkö												
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Painovoimainen												
Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoeenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	-	kWh <sub>eq</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)									
Sähkö	18710	153.4	1.7	260.7									
Uusiutuva polttoaine	3333	27.3	0.5	13.7									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	2779	22.8											
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				275									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokittelustaiteikko													
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A (&lt;=92)</td> <td>B (&lt;=161)</td> <td>C (&lt;=201)</td> </tr> <tr> <td>D (&lt;=281)</td> <td>E (&lt;=411)</td> <td>F (&lt;=481)</td> </tr> <tr> <td>G (&gt;481)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A (<=92)	B (<=161)	C (<=201)	D (<=281)	E (<=411)	F (<=481)	G (>481)		
A (<=92)	B (<=161)	C (<=201)											
D (<=281)	E (<=411)	F (<=481)											
G (>481)													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	D												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu standardikäyttöä lämmitettyä nettoalaa kohden. Jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jaahdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapoltolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
ENERGIA TEHOKKUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET													
Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi													
Tämä osio ei koske uudisrakennuksia													
<p>Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin kohdassa "Toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi".</p>													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	1 Erilliset pientalot sekä riv- ja ketjutalot (Pientalo)			
Rakennuksen valmistusvuosi	Lämmitetty nettoala 122 m²			
<b>Rakennusvaippa</b>				
Ilmanvuotoluku q50	5.1	m³/(h·m²)		
	A m²	U W/(m²K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöstä %
Ulkoseinät	110	0.24	26	26
Yläpohja	122	0.12	15	15
Alapohja	122	0.24	30	30
Ikkunat	14	1	14	14
Ulkoovet	6	1	6	6
Kylmäsiilat	-	-	9	9
<b>Ikkunat ilmansuunnittain</b>				
	A m²	U W/(m²K)	gkohtisuora	
Pohjoinen	0	0	0	
Koillinen	0	0	0	
Itä	0	0	0	
Kaakko	9	1	0.6	
Etelä	0	0	0	
Lounas	0	0	0	
Länsi	0	0	0	
Luode	5	1	0.6	
<b>Ilmanvaihtojärjestelmä</b>				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Palnovolmainen				
	Ilmavirta tulo/poisto (m³/s)/(m³/s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m³/s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätyminenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	0/0.049	0	-	-
Erillispöistot	0	0	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	0/0.049	0		
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: 0%				
<b>Lämmitysjärjestelmä</b>				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus: sähkö				
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m³vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	1	0.93	-	0.5
LKV:n valmistus	1	0.75	-	0
1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle 2) lämpöpumpputähteissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökerrotimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	1	2000		
Ilmalämpöpumppu	1	4880		
<b>Jäähdytysjärjestelmä</b>				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä	-			
<b>Lämmin käyttövesi</b>				
	Ominaiskulutus dm³/(m³vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m³vuosi)		
Lämmin käyttövesi	299.18	17.45		
<b>Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla</b>				
	Käyttöaste	W/m²		
Henkilöt	0.6	2		
Kuluttajalaitteet	0.6	3		
Valaistus	0.1	8		



E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä riv- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

Lämmitetty nettoala, m²

122

E-luku, kWh<sub>e</sub>/(m²vuosi)

275

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh <sub>e</sub> /vuosi kWh <sub>e</sub> /(m²vuosi)	
Sähkö	18710	1.7	31807	260.7
Uusiutuva polttoaine	3333	0.5	1667	13.7
YHTEENSÄ	22043		33474	275

Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus

	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia	4880	40

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

	Sähkö kWh/(m²vuosi)	Lämpö kWh/(m²vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi)
Lämmitysjärjestelmä			
Tilojen lämmitys (1)	0.5	82.82	-
Tuulilman lämmitys	0	0	-
Lämpimän käyttöveden valmistus	0	33.33	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	0	-	-
Jäähdytysjärjestelmä	0	-	0.0
Kuluttajalaitteet ja valaistus	22.78	-	-
YHTEENSÄ	23.28	116.75	0.0

1) Ilmanvaihtojen tuulilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)
Tilojen lämmitys (2)	15039	123.27
Ilmanvaihtojen lämmitys (3)	0	0
Lämpimän käyttöveden valmistus	2129	17.45
Jäähdytys	0	0

2) sisältää vuotilman, korvausilman ja tuulilman lämpenemisen tilassa

3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa

Lämpökuormat

	kWh/vuosi	kWh/(m²vuosi)
Aurinko	3477	28.5
Henkilöt	1282	10.5
Kuluttajalaitteet	1924	15.8
Valaistus	855	7
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä	650	5.3

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

CADS 17.0

## Energiatodistukset, Talo 3

## ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

Talo 3, vanha rakenne

Rakennustunnus:

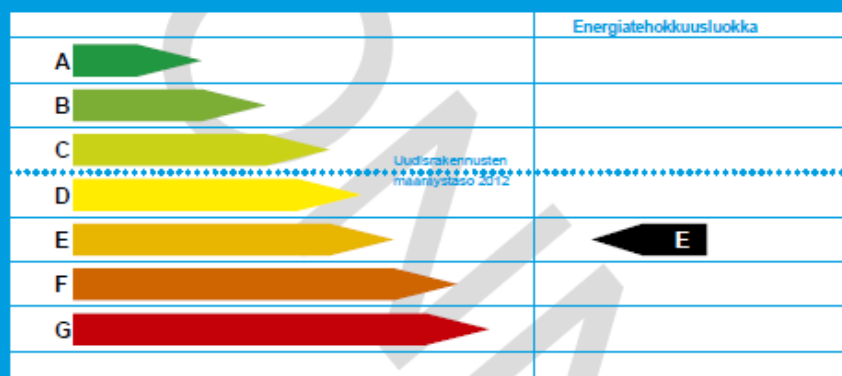
Rakennuksen valmistumisvuosi:

1974

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Todistustunnus:



Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku)

305 kWh<sub>e</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi)

Todistuksen laatija:

Yritys:

Niklas Kotonen

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

30.12.2017

Viimeinen voimassaolopäivä:

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHOKEKUUDESTA													
Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostoenergiankulutus													
Lämmitetty nettoala	133.5 m <sup>2</sup>												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	sähkö												
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	lto												
Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	-	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)									
Sähkö	23943	179.3	1.7	304.9									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3041	22.8											
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				305									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokitteluaasteikko													
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A (&lt;=87)</td> <td>B (&lt;=146)</td> <td>C (&lt;=185)</td> </tr> <tr> <td>D (&lt;=265)</td> <td>E (&lt;=395)</td> <td>F (&lt;=465)</td> </tr> <tr> <td>G (&gt;465)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A (<=87)	B (<=146)	C (<=185)	D (<=265)	E (<=395)	F (<=465)	G (>465)		
A (<=87)	B (<=146)	C (<=185)											
D (<=265)	E (<=395)	F (<=465)											
G (>465)													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	E												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu standardikäyttöä lämmitettyä nettoalaa kohti. Jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitoilmmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
ENERGIAEHOKEKUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET													
Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi													
Tämä osio ei koske uudisrakennuksia													
<p>Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin kohdassa "Toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi".</p>													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)			
Rakennuksen valmistusvuosi	1974	Lämmitetty nettoala	133.5	m <sup>2</sup>
<b>Rakennusvaippa</b>				
Ilmanvuotoluku q50	5.1	m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )		
	A	U	UxA	Osuus lämpöhäviöistä
	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·K)	W/K	%
Ulkoseinät	114	0.25	29	19.9
Yläpohja	135	0.23	31	21.2
Alapohja	135	0.25	33	22.6
Ikkunat	19	1.5	29	19.9
Ulkio-ovet	7	1.5	11	7.5
Kylmäsiilat	-	-	13	8.9
<b>Ikkunat ilmansuunnittain</b>				
	A	U	gkohtisuora	
	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·K)	-	
Pohjoinen	0	0	0	
Koillinen	0	0	0	
Itä	0	0	0	
Kaakko	6	1.5	0.6	
Etelä	0	0	0	
Lounas	4	1.5	0.6	
Länsi	0	0	0	
Luode	9	1.5	0.6	
<b>Ilmanvaihtojärjestelmä</b>				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Ito				
	Ilmavirta tulo/poisto (m <sup>3</sup> /s)/(m <sup>3</sup> /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m <sup>3</sup> /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto
Pääilmanvaihtokoneet	0.053/0.053	1.89	-	°C
Erillispoistot	0	0	60	-
<b>Ilmanvaihtojärjestelmä</b>	<b>0.053/0.053</b>	<b>1.88</b>		
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: 45%				
<b>Lämmitysjärjestelmä</b>				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus: sähkö				
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2)
	-	-	-	kWh/(m <sup>2</sup> ·vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	1	0.94	-	0.5
LKV:n valmistus	1	0.75	-	0
1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle 2) lämpöpumpputilajärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökerrotimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	0	0		
Ilmalämpöpumppu	1	5340		
<b>Jäähdytysjärjestelmä</b>				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä	-			
<b>Lämmin käyttövesi</b>				
	Ominaiskulutus dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m <sup>2</sup> ·vuosi)		
Lämmin käyttövesi	328.09	19.14		
<b>Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla</b>				
	Käyttöaste	W/m <sup>2</sup>		
Henkilöt	0.6	2		
Kuluttajalaitteet	0.6	3		
Valaistus	0.1	8		

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

1974

Lämmitetty nettoala, m²

133.5

E-luku, kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

305

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot

Laskettu ostoenergia kWh/vuosi

Energiamuodon kerroin -

Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh<sub>E</sub>/vuosi

kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

Sähkö

23943

1.7

40703

304.9

YHTEENSÄ

23943

40703

305

Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus

Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

5340

40

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

Lämmitysjärjestelmä

Tilojen lämmitys (1)

Tuotilman lämmitys

Lämpimän käyttöveden valmistus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Jäähdytysjärjestelmä

Kuluttajalaitteet ja valaistus

YHTEENSÄ

Sähkö kWh/(m²vuosi)

0.5

21.63

0

6.61

0

22.78

51.52

Lämpö kWh/(m²vuosi)

80.54

0

33.01

-

-

-

113.55

Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi)

-

-

-

-

0.0

-

0.0

1) Ilmanvaihdon tuotilman lämpeneminen tiassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

Tilojen lämmitys (2)

Ilmanvaihdon lämmitys (3)

Lämpimän käyttöveden valmistus

Jäähdytys

kWh/vuosi

14194

2887

2555

0

kWh/(m²vuosi)

106.32

21.63

19.14

0

2) sisältää tuotilman, korvausilman ja tuotilman lämpenemisen tiassa

3) laskettu lämmönlähteenoton kanssa

Lämpökuormat

Aurinko

Henkilöt

Kuluttajalaitteet

Valaistus

Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä

kWh/vuosi

4347

1403

2105

936

500

kWh/(m²vuosi)

32.6

10.5

15.8

7

3.7

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

CADS 17.0

# ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

**Talo 3, uusi rakenne**

Rakennustunnus:

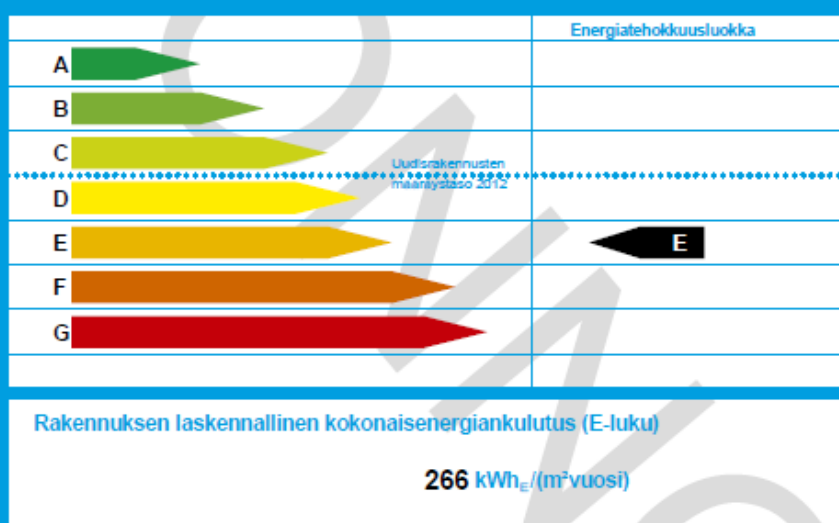
Rakennuksen valmistumisvuosi:

**1974**

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

**1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)**

Todistustunnus:



Todistuksen laatija:

**Niklas Kotonen**

Yritys:

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

**30.12.2017**

Viimeinen voimassaolopäivä:

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAATEHOKKUUDESTA

Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostoenergiankulutus

Lämmitetty nettoala	133.5 m <sup>2</sup>
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	sähkö
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	lto

Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	-	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)
Sähkö	20871	156.3	1.7	265.8
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3041	22.8		
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				266

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokitteluasteikko									
Luokkien rajat asteikolla									
<table><tr><td>A (&lt;=87)</td><td>B (&lt;=146)</td><td>C (&lt;=185)</td></tr><tr><td>D (&lt;=265)</td><td>E (&lt;=395)</td><td>F (&lt;=465)</td></tr><tr><td>G (&gt;465)</td><td></td><td></td></tr></table>	A (<=87)	B (<=146)	C (<=185)	D (<=265)	E (<=395)	F (<=465)	G (>465)		
A (<=87)	B (<=146)	C (<=185)							
D (<=265)	E (<=395)	F (<=465)							
G (>465)									
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka									
E									

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu standardikäyttöä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapoltolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

ENERGIAATEHOKKUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET	
Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi	
Tämä osio ei koske uudisrakennuksia	
<p>Suosituksia on esitetty yksityiskohtaisemmin kohdassa "Toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi".</p>	

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)			
Rakennuksen valmistusvuosi	1974	Lämmitetty nettoala	133.5	m <sup>2</sup>
<b>Rakennusvaippa</b>				
Ilmanvuotoluku q50	5.1	m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )		
	A	U	UxA	Osuus lämpöhäviöistä
	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·K)	W/K	%
Ulkoseinät	114	0.25	29	23.4
Yläpohja	135	0.08	11	8.9
Alapohja	135	0.25	33	26.6
Ikkunat	19	1.5	29	23.4
Ulkio-ovet	7	1.5	11	8.9
Kylmäsiilit	-	-	11	8.9
<b>Ikkunat ilmansuunnittain</b>				
	A	U	gkohtisuora	
	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·K)	-	
Pohjoinen	0	0	0	
Koillinen	0	0	0	
Itä	0	0	0	
Kaakko	6	1.5	0.6	
Etelä	0	0	0	
Lounas	4	1.5	0.6	
Länsi	0	0	0	
Luode	9	1.5	0.6	
<b>Ilmanvaihtojärjestelmä</b>				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	Ito			
	Ilmavirta tulo/poisto (m <sup>3</sup> /s)/(m <sup>3</sup> /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m <sup>3</sup> /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	0.053/0.053	1.89	-	-
Erillispoistot	0	0	-	-
<b>Ilmanvaihtojärjestelmä</b>	<b>0.053/0.053</b>	<b>1.88</b>		
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: 45%				
<b>Lämmitysjärjestelmä</b>				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	sähkö			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m <sup>3</sup> /vuosi)
	-	-	-	-
Tilojen ja iv:n lämmitys	1	0.94	-	0.5
LKV:n valmistus	1	0.75	-	0
1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle 2) lämpöpumppujärjestelmässä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	0	0		
Ilmalämpöpumppu	1	5340		
<b>Jäähdytysjärjestelmä</b>				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä	-			
<b>Lämmin käyttövesi</b>				
	Ominaiskulutus dm <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> /vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m <sup>3</sup> /vuosi)		
Lämmin käyttövesi	328.09	19.14		
<b>Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla</b>				
	Käyttöaste	W/m <sup>2</sup>		
Henkilöt	0.6	2		
Kuluttajalaitteet	0.6	3		
Valaistus	0.1	8		



E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoituksuokka

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)

Rakennuksen valmistusvuosi

1974

Lämmitetty nettoala, m²

133.5

E-luku, kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

266

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot

Laskettu ostoenergia kWh/vuosi

Energiamuodon kerroin -

Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh<sub>E</sub>/vuosi

kWh<sub>E</sub>/(m²vuosi)

Sähkö

20871

1.7

35481

265.8

YHTEENSÄ

20871

35481

266

Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus

Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

5340

40

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

Sähkö kWh/(m²vuosi)

Lämpö kWh/(m²vuosi)

Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi)

Lämmitysjärjestelmä

Tilojen lämmitys (1)

0.5

57.52

-

Tuotilman lämmitys

21.63

0

-

Lämpimän käyttöveden valmistus

0

33.01

-

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

6.61

-

-

Jäähdytysjärjestelmä

0

-

0.0

Kuluttajalaitteet ja valaistus

22.78

-

-

YHTEENSÄ

51.52

90.53

0.0

1) Ilmanvaihtojärjestelmän tuotilman lämmitys tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

Tilojen lämmitys (2)

11316

84.76

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys (3)

2887

21.63

Lämpimän käyttöveden valmistus

2555

19.14

Jäähdytys

0

0

2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuotilman lämmityksen tilassa

3) laskettu lämmönlähteenoton kanssa

Lämpökuormat

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

Aurinko

4347

32.6

Henkilöt

1403

10.5

Kuluttajalaitteet

2105

15.8

Valaistus

936

7

Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä

500

3.7

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

CADS 17.0

Lämpötaseen kaava ja merkinnät

Lämpötaseen kaava ja merkinnät

$$T_t = \frac{(A_{yp} \cdot U_{yp} + \dot{V}_{st} \cdot \rho \cdot c_p) \cdot (T_s) + (A_{vk} \cdot U_{vk} + \dot{V}_{tu} \cdot \rho_t \cdot c_p) \cdot (T_u)}{(A_{yp} \cdot U_{yp} + \dot{V}_{st} \cdot \rho \cdot c_p + A_{vk} \cdot U_{vk} + \dot{V}_{tu} \cdot \rho_t \cdot c_p)}$$

jossa

$A_{yp}$	– Yläpohjan ala, m <sup>2</sup>
$U_{yp}$	– Yläpohjan U-arvo, W/m <sup>2</sup> K
$\dot{V}_{st}$	– Tilavuusvirta sisätiloista, l/s
$\rho$	– Ilman tiheys, kg/m <sup>3</sup>
$c_p$	– Ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg*K
$T_s$	– Sisätilan lämpötila, °C
$A_{vk}$	– Vesikatteen ja päätykolmioiden ala, m <sup>2</sup>
$U_{vk}$	– Vesikatteen ja päätykolmioiden U-arvo, W/m <sup>2</sup> K
$\dot{V}_{tu}$	– Tilavuusvirta ulkoa tuuletustilaan, l/s
$\rho_t$	– Ilman tiheys tuuletustilassa, kg/m <sup>3</sup>
$T_u$	– Ulkoilman lämpötila, °C

(Knuutila 2017.)

## Lämpö- ja kosteustase

Talo 1, Tuuletustilan kosteustase. Lokakuu, ulkolämpötila 2 °C, RH 90%

$$A_{yp} := 189 \text{ m}^2 \quad U_{yp} := 0.12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad p := 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_{vk} := 210 \text{ m}^2 \quad U_{vk} := 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad cp := 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T_s := 21 \text{ °C}$$

$$T_u := 2 \text{ °C}$$

$$V_{sisä} := 9.45 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$V_{ulko} := 157.5 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Tuuletustilan lämpötila

$$T_t := \frac{(A_{yp} \cdot U_{yp} + V_{sisä} \cdot p \cdot cp) \cdot T_s + (A_{vk} \cdot U_{vk} + V_{ulko} \cdot p \cdot cp) \cdot T_u}{A_{yp} \cdot U_{yp} + V_{sisä} \cdot p \cdot cp + A_{vk} \cdot U_{vk} + V_{ulko} \cdot p \cdot cp}$$

$$T_t = 3.005 \text{ °C}$$

$$Z_p := 505 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{ s} \cdot \text{Pa}}{\text{kg}}$$

$$Z_v := \frac{Z_p}{461.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}} \quad Z_v = (4.009 \cdot 10^9) \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

Olosuhteetulkona

$$T_u = 2 \text{ °C} \quad v_{ku} := 0.00558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$RH := 90\% \quad v_u := RH \cdot v_{ku} = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sisätilan kosteus

$$v_{lisä} := 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_s := v_u + v_{lisä}$$

$$v_s = 0.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V_t := \frac{\left( \frac{A_{yp}}{Z_v} + V_{sisä} \right) \cdot v_s + V_{ulko} \cdot v_u}{\frac{A_{yp}}{Z_v} + V_{sisä} + V_{ulko}} = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_k := 4.85 + 3.47 \left( \frac{3.005}{10} \right) + 0.945 \left( \frac{3.005}{10} \right)^2 + 0.158 \left( \frac{3.005}{10} \right)^3 + 0.0281 \left( \frac{3.005}{10} \right)^4 = 5.983$$

$$V_{k\_3.005^\circ\text{C}} := \frac{v_k}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.006 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_u\text{tuuletustilan\_RH} := \frac{V_t}{V_{k\_3.005^\circ\text{C}}} \cdot 100 = 88.674$$

Talo 2, Tuuletustilan kosteustase. Lokakuu, ulkolämpötila  $2^{\circ}\text{C}$ , RH 90%

$$\begin{aligned} Ayp &:= 117 \text{ m}^2 & Uyp &:= 0.12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} & p &:= 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ Avk &:= 137 \text{ m}^2 & Uvk &:= 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} & cp &:= 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ts &:= 20^{\circ}\text{C} \\ Tu &:= 2^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$Vsisä := 5.85 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Vulko := 97.5 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Tuuletustilan lämpötila

$$Tt := \frac{(Ayp \cdot Uyp + Vsisä \cdot p \cdot cp) \cdot Ts + (Avk \cdot Uvk + Vulko \cdot p \cdot cp) \cdot Tu}{Ayp \cdot Uyp + Vsisä \cdot p \cdot cp + Avk \cdot Uvk + Vulko \cdot p \cdot cp}$$

$$Tt = 2.92^{\circ}\text{C}$$

$$Zp := 505 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}{\text{kg}}$$

$$Zv := \frac{Zp}{461.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}} \quad Zv = (4.009 \cdot 10^9) \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

Olosuhteet ulkona

$$Tu = 2^{\circ}\text{C} \quad vku := 0.00558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$RH := 90\% \quad vu := RH \cdot vku = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sisätilan kosteus

$$vlisä := 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$vs := vu + vlisä$$

$$vs = 0.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Vt := \frac{\left(\frac{Ayp}{Zv} + Vsisä\right) \cdot vs + Vulko \cdot vu}{\frac{Ayp}{Zv} + Vsisä + Vulko} = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$vk := 4.85 + 3.47 \left(\frac{2.92}{10}\right) + 0.945 \left(\frac{2.92}{10}\right)^2 + 0.158 \left(\frac{2.92}{10}\right)^3 + 0.0281 \left(\frac{2.92}{10}\right)^4 = 5.948$$

$$Vk_{2.92^{\circ}\text{C}} := \frac{vk}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.006 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Tuuletustilan\_RH := \frac{Vt}{Vk_{2.92^{\circ}\text{C}}} \cdot 100 = 89.191$$

Talo 3, Tuuletustilan kosteustase. Lokakuu, ulkolämpötila 2 °C, RH 90%

$$\begin{aligned}
 Ayp &:= 138 \text{ m}^2 & Uyp &:= 0.08 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} & p &:= 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 Avk &:= 160 \text{ m}^2 & Uvk &:= 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} & cp &:= 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\
 Ts &:= 20 \text{ °C} \\
 Tu &:= 2 \text{ °C} \\
 Vsisä &:= 6.9 \frac{\text{l}}{\text{s}} \\
 Vulko &:= 115 \frac{\text{l}}{\text{s}} & \text{Tuuletustilan lämpötila} \\
 Tt &:= \frac{(Ayp \cdot Uyp + Vsisä \cdot p \cdot cp) \cdot Ts + (Avk \cdot Uvk + Vulko \cdot p \cdot cp) \cdot Tu}{Ayp \cdot Uyp + Vsisä \cdot p \cdot cp + Avk \cdot Uvk + Vulko \cdot p \cdot cp} \\
 Tt &= 2.729 \text{ °C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Zp &:= 505 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{ s} \cdot \text{Pa}}{\text{kg}} \\
 Zv &:= \frac{Zp}{461.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}} & Zv &= (4.009 \cdot 10^9) \frac{\text{s}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Olosuhteet ulkona} \\
 Tu &= 2 \text{ °C} & vku &:= 0.00558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 RH &:= 90\% & vu &:= RH \cdot vku = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

Sisätilan kosteus

$$\begin{aligned}
 vlisä &:= 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 vs &:= vu + vlisä \\
 vs &= 0.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & Vt &:= \frac{\left( \frac{Ayp}{Zv} + Vsisä \right) \cdot vs + Vulko \cdot vu}{\frac{Ayp}{Zv} + Vsisä + Vulko} = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

$$vk := 4.85 + 3.47 \left( \frac{2.729}{10} \right) + 0.945 \left( \frac{2.729}{10} \right)^2 + 0.158 \left( \frac{2.729}{10} \right)^3 + 0.0281 \left( \frac{2.729}{10} \right)^4 = 5.871$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tuuletustilan RH} &:= \frac{Vt}{Vk_{2.729^\circ\text{C}}} \cdot 100 = 90.364 & Vk_{2.729^\circ\text{C}} &:= \frac{vk}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.006 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

Lämpö- ja kosteustase, kaavat (Knuutila 2017)

Merkinnot:

Ayp	-Yläpohjan pinta-ala
Uyp	-Yläpohjan U-arvo
Avk	- Vesikaton ja päätykolmioiden pinta-ala
Uvk	- Vesikaton ja päätykolmioiden U-arvo
p	- Ilman tiheys, kg/m <sup>3</sup>
cp	- Ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg*K
Ts	- Sisälämpötila
Tu	- Ulkolämpötila
Vsisä	- Ilman tilavuusvirta sisätiloista
Vulko	- Ilman tilavuusvirta ulkotiloista
Zp	- Kosteuden läpäisyvastus
Zv	- Vesihöyrynvastus
vku	- Kriittinen ilman vesihöyrypitoisuus
vu	- Ulkoilman vesihöyrypitoisuus
vlisä	- Sisäilman kosteuslisä
vs	- Sisäilman kosteus
vk	- Tuuletustilan lämpötilan mukainen kriittinen ilman vesihöyrypitoisuus
Vt	- Tuuletustilan ilman vesihöyrypitoisuus

## Diffuusiotaulukot, Talo 2 ja 3

Rakenteen sisäiset lämpötilat ja diffuusio								Talo 2
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R	Tsisä	Pk	$Z_p \cdot 10^9$	P	RH%
Sisäpinta			0,1	21	2485,6		1398,0	56,2
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062			0,5		
				20,7	2425,5		1397,3	57,6
Harvalauta	0,022	0,144	0,153			1,11		
				20,3	2381,3		1395,7	58,6
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004			500		
				20,3	2381,3		677,6	28,5
Min.villa	0,225	0,05	4,5			1,125		
				10,9	1310,5		676,0	51,6
Selluvilla	0,15	0,04	3,75			0,75		
				3,0	762		674,9	88,6
Ulkopinta			0,04					
	Tuuletustilan lämpötila			2,90	756,6	503,485	674,9	89,2
	ja RH %			Tulko	Pk		P	RH%

## Liite 12 (2/3)

Rakenteen sisäiset lämpötilat ja diffuusio				Talo 3				
Kerrokset	Paksuus/m	$\lambda$	R	Tsisä	Pk	$Z_p \cdot 10^9$	P	RH%
Sisäpinta			0,100	21	2485,6		1397,1	56,2
Kipsilevy	0,013	0,21	0,062			0,5		
				20,8	2440,4		1393,3	57,1
Harvalauta	0,022	0,144	0,153			1,1		
				20,5	2410,7		1391,7	57,7
Höyrynsulku	0,002	0,5	0,004			500,0		
				20,5	2410,7		676,1	28,0
Min.villa	0,2	0,05	4			2,0		
				14,3	1634,5		673,3	41,2
Selluvilla	0,3	0,04	7,5			1,5		
				2,8	751,1		671,1	89,3
ulkopinta			0,04					
		Ulkolämpötilassa		2,7	745,7	505,1	671,1	90,3
				Tulko	Pk		P	RH%



## Diffusiotaulukon laskenta

## Lähtötiedot:

d	- Materiaalien paksuus, m
$\lambda$	- Materiaalin lämmönjohtavuus, W/m <sup>2</sup> *K
R	- Materiaalin lämmön vastus
T <sub>s</sub>	- Sisälämpötila
T <sub>u</sub>	- Ulkolämpötila
Z <sub>p</sub>	- Materiaalin kosteudenläpäisyvastus
P <sub>k</sub>	- Kriittinen vesihöyrypitoisuus lämpötilan mukaan
P	- vesihöyrypitoisuus lämpötilassa RH %:n mukaan

## Lämmönvastuksen laskenta

$$R := \frac{d}{\lambda}$$

## Lämpötila pisteessä X

$$T_x := T_s - \frac{R_x + R_y + R_z}{R_{tot}} \cdot (T_s - T_u)$$

## Rh % sisällä

$$abs.kosteus.sisä := abs.kosteus.ulko \cdot RH.ulkona + RIL.kosteuslisä$$

$$RH.sisä := \frac{abs.kosteus.sisä}{Pk.sisä} \cdot 100$$

## Kosteus pisteessä X

$$P_x := P_{sisä} - \frac{Z_x + Z_y + Z_z}{Z_{tot}} \cdot (P_{sisä} - P_{ulko})$$

## RH % pisteessä X

$$RH_x := \frac{P_x}{P_{k,x}} \cdot 100$$

(Knuutila 2017)

Talo 1, toteutuneet kulutukset ennen eristystä

Ennen eristystä				
Vuosi	2013	2014	2015	Keskiarvo:
Tammikuu	2286,0	1980,6	1977,3	2081,3
°C	-4,9	-5,9	-0,9	-3,9
Helmikuu	1860,0	1322,4	1612,1	1598,2
°C	-1,8	0,1	0,8	-0,3
Maaliskuu	2097,0	1257,4	1531,3	1628,6
°C	-5,2	2,0	2,3	-0,3
Huhtikuu	1298,0	878,4	1195,0	1123,8
°C	3,0	5,8	5,2	4,7
Toukokuu	653,0	664,7	846,0	721,2
°C	12,4	10,4	9,2	10,7
Kesäkuu	363,0	443,7		403,4
°C	17,3	13,4		15,4
Heinäkuu	421,5	283,5		352,5
°C	18,0	20,0		19,0
Elokuu	421,2	439,6		430,4
°C	17,1	17,8		17,5
Syyskuu	840,0	647,1		743,5
°C	12,6	13,0		12,8
Lokakuu	1056,5	1237,9		1147,2
°C	7,4	6,7		7,1
Marraskuu	1230,6	1522,7		1376,6
°C	4,6	3,2		3,9
Joulukuu	1393,2	1985,8		1689,5
°C	2,3	0,1		1,2
Yht./kWh	13951,0	12663,6	7161,73	13296,1
Ka. / °C	6,9	7,2		7

(Caruna n.d.; Ilmatieteenlaitos n.d.)

## Talo 1, toteutuneet kulutukset eristyksen jälkeen

Eristyksen jälkeen				
Vuosi	2015	2016,0	2017	Kes- kiarvo:
Tammikuu		2964,7	1720,0	2342,4
°C		-8,8	-1,9	-5,4
Helmikuu		1831,1	1664,0	1747,5
°C		0,3	-2,0	-0,9
Maaliskuu		1782,9	1598,0	1690,5
°C		0,8	1,1	1,0
Huhtikuu		1200,9	1315,0	1258,0
°C		4,7	2,7	3,7
Toukokuu		387,5	827,5	607,5
°C		13,6	9,3	11,5
Kesäkuu	486,3	325,5	454,2	422,0
°C	13,1	15,1	13,5	13,9
Heinäkuu	379,7	252,3	461,8	364,6
°C	16,2	17,6	15,9	16,6
Elokuu	359,2	353,0	457,4	389,9
°C	17,3	16,2	16,1	16,5
Syyskuu	635,0	435,5	777,0	615,8
°C	13,6	13,2	12,1	13,0
Lokakuu	1157,4	1060,2		1108,8
°C	6,3	5,5		5,9
Marraskuu	1408,8	1470,0		1439,4
°C	3,2	5,5		4,4
Joulukuu	1708,0	1597,0		1652,5
°C	0,1	3,3		1,7
Yht./kWh	6134	13660,5	9274,9	13638,8
Ka. / °C		7,3		6,8

(Caruna n.d.; Ilmatieteenlaitos n.d.)

## Talo 2, toteutuneet kulutukset ennen eristystä

Ennen eristystä				
Vuosi	2014	2015	2016	Kes- kiarvo
Tammikuu	2929,9	2362,5	2709,9	2667,5
°C	-5,9	-0,9	-8,8	-5,2
Helmikuu	2273,6	1857,7	2122,1	2084,5
°C	0,1	0,8	0,3	0,4
Maaliskuu	2288,0	2015,0	2476,8	2259,9
°C	2,0	2,3	0,8	1,7
Huhtikuu	1616,4	1623,1	2073,7	1771,1
°C	5,8	5,2	4,7	5,2
Toukokuu	1105,3	1199,3	1143,7	1149,4
°C	10,4	9,2	13,6	11,1
Kesäkuu	923,8	919,8	728,4	857,3
°C	13,4	13,1	15,1	13,9
Heinäkuu	667,7	832,5	665,7	722,0
°C	20,0	16,2	17,6	17,9
Elokuu	622,7	732,1	699,2	684,7
°C	17,8	17,3	16,2	17,1
Syyskuu	739,9	1002,9		871,4
°C	13,0	13,6		13,3
Lokakuu	1184,3	1604,9		1394,6
°C	6,7	6,3		6,5
Marraskuu	1688,6	1840,7		1764,7
°C	3,2	5,5		4,4
Joulukuu	2538,3	2113,5		2325,9
°C	0,1	3,3		1,7
Yht./kWh	18578,3	18104,0	12619,4	18552,7
Ka. / °C	7,2	7,7		7,3

(Caruna n.d.; Ilmatieteenlaitos n.d.)

## Talo 2, toteutuneet kulutukset eristyksen jälkeen

Eristyksen jälkeen			
Vuosi	2016	2017	Kes- kiarvo
Tammikuu		2132,4	2132,4
°C		-1,9	-1,9
Helmikuu		1845,9	1845,9
°C		-2,0	-2,0
Maaliskuu		1741,1	1741,1
°C		1,1	1,1
Huhtikuu		1625,7	1625,7
°C		2,7	2,7
Toukokuu		1201,7	1201,7
°C		9,3	9,3
Kesäkuu		805,9	805,9
°C		13,5	13,5
Heinäkuu		677,1	677,1
°C		15,9	15,9
Elokuu		604,8	604,8
°C		16,1	16,1
Syyskuu	972,0	925,7	948,8
°C	13,2	12,1	12,7
Lokakuu	1361,9		1361,9
°C	5,5		5,5
Marraskuu	1619,0		1619,0
°C	0,0		0,0
Joulukuu	2141,9		2141,9
°C	0,2		0,2
Yht./kWh			16916,1
Ka. / °C			6,1

(Caruna n.d.; Ilmatieteenlaitos n.d.)

## Talo 3, toteutuneet kulutukset ennen eristystä

Ennen eristystä			
Vuosi	2014	2015	Keskiarvo
Tammikuu	3440	2852	3146
°C	-5,9	-0,9	-3,4
Helmikuu	2405	2335	2370
°C	0,1	0,8	0,5
Maaliskuu	2461	2428	2445
°C	2,0	2,3	2,2
Huhtikuu	1982	1829	1906
°C	5,8	5,2	5,5
Toukokuu	1475	1578	1527
°C	10,4	9,2	9,8
Kesäkuu	1064	1101	1083
°C	13,4	13,1	13,3
Heinäkuu	649	858	754
°C	20,0	16,2	18,1
Elokuu	878	755	817
°C	17,8	17,3	17,6
Syyskuu	1285	1292	1289
°C	13	13,6	13,3
Lokakuu	1927	1930	1929
°C	6,7	6,3	6,5
Marraskuu	2411	1830	2121
°C	3,2	5,5	4,4
Joulukuu	2718	2144	2431
°C	0,1	3,3	1,7
Yht./kWh	22695	20932	21813,5
ka. °C	7,2	7,7	7,4

(Caruna n.d.; Ilmatieteenlaitos n.d.)

## Talo 3, toteutuneet kulutukset eristyksen jälkeen

Eristyksen jälkeen			
Vuosi	2016	2017	Keskiarvo:
Tammikuu	3472	2814	3143
°C	-8,8	-1,9	-5,35
Helmikuu	2191	2489	2340
°C	0,3	-2,0	-0,9
Maaliskuu	2203	2337	2270
°C	0,8	1,1	1,0
Huhtikuu	1662	1920	1791
°C	4,7	2,7	3,7
Toukokuu	1040	1332	1186
°C	13,6	9,3	11,5
Kesäkuu	760	953	856,5
°C	15,10	13,50	14,30
Heinäkuu	644	952	798
°C	17,6	15,9	16,75
Elokuu	806	783	794,5
°C	16	16	16
Syyskuu	1054	1182	1118
°C	13,2	12,1	12,65
Lokakuu	1790		1790
°C	5,5		5,5
Marraskuu	2264		2264
°C	5,5		5,5
Joulukuu	2543		2543
°C	3,3		3,3
Yht./kWh	20429	14762	20894
ka. °C	7,3		7,0

(Caruna n.d.; Ilmatieteenlaitos n.d.)